



ISSN: 2301-5373
E-ISSN: 2654-5101

Volume 13 • Number 2 • November 2024

JELIKU

Jurnal Elektronik Ilmu Komputer Udayana

Informatics Study Program

Faculty of Mathematics and Natural Sciences

Udayana University

Table of Contents

| | |
|---|---------|
| <i>Eggplant Leaf Diseases Detection and Counting System on Agricultural Robot Based on YOLOv8</i> | |
| Yohanes Gilang Prasaja Putra, Ardy Seto Priambodo | 227-236 |
| <i>Sales Forecasting Using Random Forest Regression with Particle Swarm Optimization on Superstore Sales</i> | |
| Gede Gery Sastrawan, I Putu Gede Hendra Suputra, Ida Bagus Gede Dwidasmara, Ida Ayu Gde Suwiprabayanti Putra..... | 237-248 |
| <i>Implementasi Algoritma Simulated Annealing (SA) dalam Steganografi Discrete Cosine Transform (DCT)</i> | |
| I Nyoman Dwi Pradnyana Putra, I Gede Santi Astawa, I Ketut Gede Suhartana, Gusti Ayu Vida Mastrika Giri..... | 249-260 |
| <i>Pengaruh Metode MFCC Dan KNN Pada Music Information Retrieval Terhadap Klasifikasi Genre Musik</i> | |
| Ida Bagus Made Surya Widnyana, Ngurah Agus Sanjaya ER, I Putu Gede Hendra Suputra, Luh Arida Ayu Rahning Putri | 261-268 |
| <i>Sistem Personalized Recommendation dengan Pendekatan Ontologi untuk Menangani Masalah Obesitas</i> | |
| Putu Danny Satria Ananta Yuda, Anak Agung Istri Ngurah Eka Karyawati, I Wayan Supriana, I Gede Santi Astawa | 269-284 |
| <i>Representasi Digital Secara Semantik dari Warisan Budaya Bali: Studi Kasus pada Kain Tenun Gringsing</i> | |
| Duta Awidya, Luh Gede Astuti, Cokorda Pramatha, I Komang Ari Mogi | 285-296 |
| <i>Penerapan Metode Least Significant Bit Dalam Perlindungan Hak Cipta Pada Kain Cepuk</i> | |
| Made Yayang Prananda, I Gusti Agung Gede Arya Kadyanan, I Gusti Ngurah Anom Cahyadi Putra, I Ketut Gede Suhartana | 297-308 |

Comparative Analysis of Algorithm of Naive Bayes and C4.5 On Employee Performance Classification

Muhammad Sadikin, Rini Oktari Batubara 309-320

Analisis Barang Bukti Pada Aplikasi Whatsapp Menggunakan FTK Imager Di Kelas Teknik Komputer Universitas Bina Darma

Rahmat Novrianda Dasmen, Muhammad Fikri, Rasmila Rasmila, Habib Elfariz Tritama, Muhammad Rizky Aulia, Kms. M. Okta Agung Saputra 321-326

Analisis Klasifikasi Citra Karakteristik Topeng Bali Menggunakan InceptionV3 dan MobileNetV2

Ni Putu Widya Yuniari, I Made Surya Kumara, I Kadek Agus Wahyu Raharja, I Made Adi Bhaskara, I Gede Wira Darma, Gde Wikan Pradnya Dana 327-338

Rancang Bangun Face Recognition Menggunakan Metode Convolutonal Neural Network Untuk Mendeteksi Keseriusan Mahasiswa Dalam Pembelajaran Daring

I Nyoman Restu Muliarta, I Gede Santi Astawa 339-346

Analysis of the ALS-MF (Alternating Least Square) Algorithm Matrix Factorization) with SVD (Singular Value Decomposition) in the Collaborative Filtering Method

Ngakan Putu Widyasprana, I Made Widhi Wirawan, I Gede Santi Astawa, I Dewa Made Bayu Atmaja Darmawan 347-356

Perbandingan Metode Case-Based Reasoning dan Rule-Based Reasoning dengan Metode Backward Chaining untuk Diagnosa Penyakit Thalassemia Beta

Wahyu Vidiadivani, I Ketut Gede Suhartana, Ngurah Agus Sanjaya ER, I Gede Arta Wibawa 357-366

Implementasi Case Base Reasoning Sebagai Diagnosis Penyakit Kesehatan Mental Pada Data Aplikasi Alodokter

I Wayan Supriana, I Wayan Adhi Surya Gemilang 367-372

Rancang Bangun Sistem Pencarian Informasi Buku Berbasis Website Menggunakan Teknologi Semantik

Kadek Diah Pramesti, Luh Gede Astuti, Gst. Ayu Vida Mastrika Giri, I Gusti Agung Gede Arya Kadyanan 373-382

Penerapan Machine Learning Dalam Analisis Sentimen dan Pemodelan Topik Data Opini Kendaraan Listrik

Putu Ayu Novia Aryanti, I Made Widhi Wirawan, Anak Agung Istri Ngurah Eka Karyawati, Anak Agung Istri Ngurah Eka Karyawati, I Wayan Supriana 383-394

Implementasi Algoritma Simulated Annealing (SA) dalam Steganografi Discrete Cosine Transform (DCT)

I Nyoman Dwi Pradnyana Putra, I Gede Santi Astawa, I Ketut Gede Suhartana, Gst. Ayu Vida Mastrika Giri 395-406

Game Belajar Membaca Kata Bahasa Inggris Dengan Pendekatan Metode MFCC dan KNN

I Wayan Agus Juniarta, I Gede Santi Astawa, Made Agung Raharja, I Gusti Ngurah Anom Cahyadi Putra 407-416

Penerapan Ontologi dan Algoritma Genetika Dalam Sistem Rekomendasi Buku

Qaris Ardian Pratama, I Gede Arta Wibawa, Ida Ayu Gde Suwiprabayanti Putra, I Dewa Made Bayu Atmaja Darmawan 417-424

Pengenalan Pola Motif Kain Songket Lombok Menggunakan Ekstraksi Fitur LBP, GLCM dan Metode K-Nearest Neighbor

Puspadevi Anggotra, Agus Muliantara, I Dewa Made Bayu Atmaja Darmawan, I Gusti Ngurah Anom Cahyadi Putra..... 425-434

Aplikasi Enkripsi Pesan E-Mail Menggunakan Hybrid Cryptosystem AES dan RSA

Gede Krisna Surya Artajaya, Agus Muliantara, I Gusti Ngurah Anom Cahyadi Putra, I Ketut Gede Suhartana..... 435-446

Klasifikasi Gamelan Bali Menggunakan Support Vector Machine (SVM)

I Kadek Riski Ari Putra, Luh Arida Ayu Rahning Putri, I Made Widiartha..... 447-458

Aplikasi Rekam Momen Guna Meningkatkan Kemampuan Mengingat Pengguna Dengan Pendekatan User Centered Design Berbasis Android

I Dewa Made Candra Wiguna Marcelino, Ngurah Agus Sanjaya ER..... 459-470

Optimalisasi Keamanan Data Digital melalui Kombinasi Metode AES dan Bit-Plane Complexity Segmentation

Luh Gede Tresna Dewi, Ngurah Agus Sanjaya ER, I Komang Ari Mogi, I Gede Surya Rahayuda..... 471-480

Sistem Digital Signature Untuk Verifikasi Dokumen Digital Menggunakan Mac Address Pada SHA-256 dan AES-128

I Dewa Gde Putra Anga Biara, I Putu Gede Hendra Suputra, I Gusti Agung Gede Arya Kadnyanan, I Gede Arta Wibawa 481-490

Sistem Smart Healthcare dalam Diagnosa Tingkat Stres Menggunakan Metode Certainty Factor

Ni Putu Vina Amandari, Ngurah Agus Sanjaya ER, I Gusti Ngurah Anom Cahyadi Putra, Ida Bagus Gede Dwidasmaras..... 491-502

Perbandingan Kesamaan Tugas Mahasiswa Berbasis Text Summarization Menggunakan Metode Cosine Similarity

I Gusti Ayu Purnami Pinatih, I Gede Santi Astawa, Ngurah Agus Sanjaya ER, Ida Ayu Gde Suwiprabayanti Putra..... 503-516

Sistem Proses Validasi Pada Pembinaan Karir Prajurit Militer Dengan Metode Rule-Based Reasoning Berbasis User Centered Design (Studi Kasus: Jajaran Korem 163)

I Putu Gede Maysa Putra, Made Agung Raharja, I Gede Arta Wibawa, I Gusti Ngurah Anom Cahyadi Putra 517-528

**SUSUNAN DEWAN REDAKSI
JURNAL ELEKTRONIK ILMU KOMPUTER
UDAYANA (JELIKU)**

Penanggung Jawab :

Dra. Ni Luh Watiniasih M.Sc., Ph.D.

Redaktur :

Gst. Ayu Vida Mastrika Giri, S.Kom., M.Cs.

Penyunting/Editor :

Agus Muliantara, S.Kom., M.Kom

I Komang Ari Mogi, S.Kom., M.Kom

I Gusti Agung Gede Arya Kadyanan, S.Kom., M.Kom

Dr. Anak Agung Istri Ngurah Eka Karyawati, S.Si., M.Eng

Disain Grafis :

Ni Made Julia Budiantari

Sandrina Ferani Aisyah Putri

Fotografer :

Dewa Agung Ayu Mutiara Dewi

Hana Christine Octavia

Sekretariat :

Ni Ketut Alit Widiastuti, S.Kom.

Anak Agung Raka Darmawan, S.Kom.

I Putu Herryawan, S.Kom.

This page is intentionally left blank.

Eggplant Leaf Diseases Detection and Counting System on Agricultural Robot Based on YOLOv8

Yohanes Gilang Prasaja Putra^{a1}, Ardy Seto Priambodo^{a2}

^aProgram Studi Teknik Elektronika, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Yogyakarta
Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia
¹yohanesgilangpp@gmail.com
²ardyseto@uny.ac.id

Abstract

Eggplants play an important role in Indonesia's economic and food sectors. Production increases yearly, but diseases such as earworm, flea beetle, leaf spot, and leafhopper cause significant losses. Additionally, manual disease detection methods are time-consuming and prone to errors. This research develops an automated system using YOLOv8 and the Telegram Bot system to detect and count eggplant leaf diseases. The YOLOv8 algorithm can detect objects in videos or images quickly and accurately in real-time. The model uses the OpenVINO format for faster inference compared to PyTorch. The research results show that the YOLOv8 model achieved a mAP50 of 0.606. This system effectively detects, tracks, and counts eggplant leaf diseases and can send PDF files via email through the Telegram Bot. Accuracy evaluation shows an accuracy rate of 98% from the confusion matrix, with video testing showing the highest accuracy variation at 97.05% and the lowest at 23.07%. These results indicate that the automated eggplant leaf disease detection system has great potential to help agriculture prevent eggplant diseases more efficiently and accurately, supporting increased production and quality of harvests.

Keywords: Disease Detection, Eggplant Leaf Diseases, Sprayer Robot, Telegram Bot, YOLOv8

1. Pendahuluan

Tanaman hortikultura banyak ditanam oleh petani di Indonesia karena memberikan kontribusi besar pada ekonomi dan kesediaan pangan masyarakat. Salah satu tanaman hortikultura tersebut adalah terung yang secara sistematis masuk dalam anggota *Solanaceae*, berkerabat dengan cabai, tomat, dan kentang [1]. Produktivitas tanaman terung di Indonesia meningkat setiap tahunnya. Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2022, produksi terung naik dari 676.339 ton pada tahun 2021 menjadi 691.738 ton pada tahun 2022, meningkat 2,27%. Namun, produksi ini belum memenuhi permintaan pasar karena tingginya minat masyarakat mengonsumsi terung dan harganya yang ekonomis [2].

Terung sering diserang penyakit yang menyebabkan rusaknya tanaman dan kerugian ekonomi. Beberapa penyakit muncul akibat serangan *earworm*, *flea beetle*, *leaf spot*, dan *leafhopper*, yang menyebabkan kerugian panen besar. Umumnya penyakit tanaman dapat dideteksi dari daun [3]. Oleh karena itu, pengamatan daun terung secara tepat efektif untuk memastikan kesehatan tanaman [4]. Metode deteksi penyakit manual yang dilakukan petani saat ini memakan waktu dan rawan kesalahan [5]. Oleh karena itu, diperlukan teknologi otomatis untuk mendeteksi penyakit pada terung. Sistem deteksi otomatis ini dapat memberikan informasi cepat dan tepat untuk pencegahan dan pengendalian penyakit [6].

Smart farming 4.0 dengan *Artificial Intelligence (AI)* berkembang pesat di era digital, dirancang untuk meningkatkan produktivitas petani dengan membangun budidaya pertanian yang terintegrasi, terukur, dan efisien [7]. Penelitian ini mengusulkan deteksi dan penghitungan penyakit tanaman terung berdasarkan daun menggunakan algoritma *You Only Look Once* versi 8 (YOLOv8) dan monitoring berbasis Telegram Bot. Algoritma YOLO memiliki performa terbaik dibandingkan metode lain seperti Faster-RCNN dan SSD karena resolusi tinggi dalam mendeteksi objek kecil [8]. YOLO dapat mendeteksi gambar dan memberikan *bounding box* untuk menentukan letak penyakit pada daun

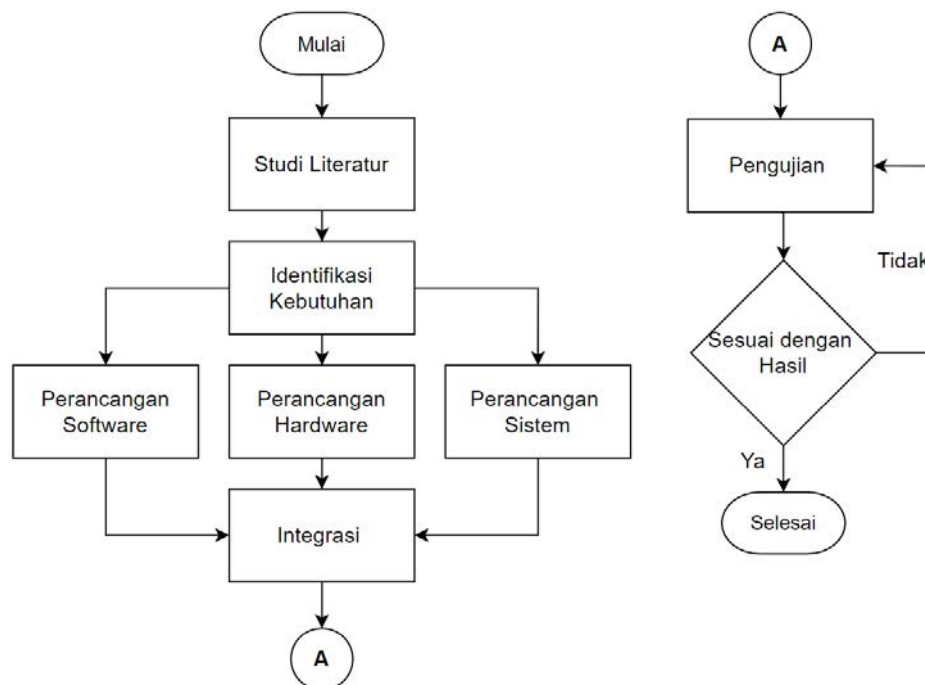
dengan lebih akurat [9]. Sistem deteksi ini dirancang dalam bentuk robot beroda yang dapat dijalankan di lahan pertanian. Penelitian ini diharapkan dapat membantu petani dalam melakukan analisis penanganan yang tepat serta meningkatkan produktivitas pertanian terung.

2. Tinjauan Literatur

Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian mengenai deteksi penyakit tanaman telah berkembang pesat dengan memanfaatkan teknologi deep learning. Penelitian oleh Keke Zhang dkk. (2021) [10] menggunakan algoritma Faster R-CNN untuk mendeteksi penyakit pada daun soybean, meskipun sistem deteksi ini tidak bekerja secara real-time dan hanya menggunakan data tes gambar. Sementara itu, Huishan Li dkk. (2023) [11] berhasil meningkatkan deteksi penyakit secara real-time pada daun apel dengan menggunakan algoritma BTC-YOLOv5 dan dataset sebanyak 2099 gambar. Selain itu, Md Janibul Alam Soeb dkk. (2023) [12] menggunakan algoritma YOLOv7 dan dataset berjumlah 4000 gambar untuk mendeteksi lima jenis penyakit pada daun teh, menunjukkan potensi yang signifikan dalam deteksi penyakit tanaman. Sebagai perbandingan, Ruchi Gajjar dkk. (2021) [13] menggunakan algoritma CNN untuk mendeteksi penyakit pada daun tanaman apel, jagung, kentang, dan tomat secara real-time dengan jumlah dataset yang sangat besar yaitu 21.978 gambar. Pada penelitian lainnya, Muhammad Juman Jhatial dkk. (2022) [14] menggunakan algoritma YOLOv5 untuk mendeteksi empat jenis penyakit pada daun padi, namun sistem ini juga tidak bekerja secara real-time dan menggunakan dataset terdiri dari 400 gambar penyakit daun padi dari Kaggle.

3. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Metode Penelitian

Berdasarkan *flowchart* tersebut dapat diuraikan sebagai berikut:

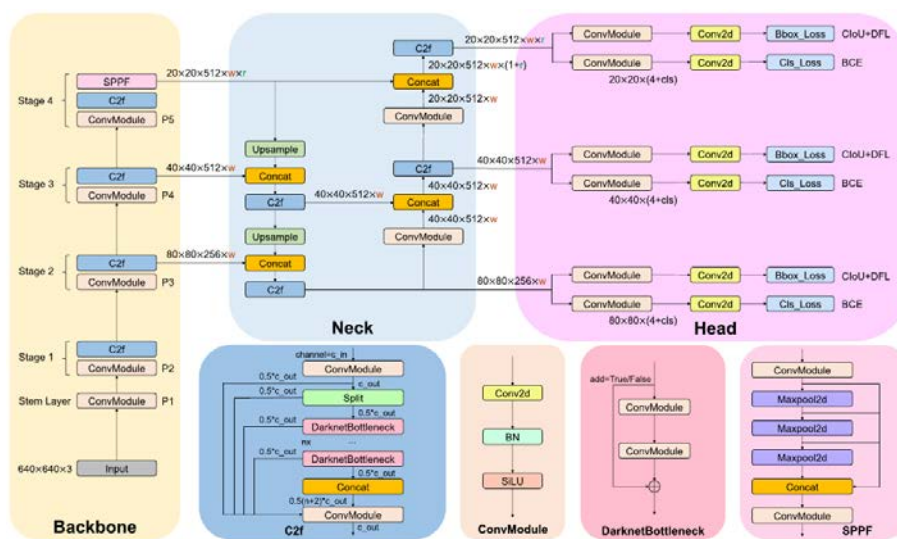
- Studi literatur: proses ini mencakup membaca, menganalisis, dan mencatat bahan penelitian yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan. Bahan yang didapatkan digunakan untuk menyusun penelitian agar relevan dengan penelitian yang sudah pernah dilakukan. Studi literatur yang digunakan berasal dari jurnal, skripsi, buku, maupun *website*.
- Identifikasi kebutuhan: proses ini bertujuan menentukan komponen yang digunakan dalam melakukan penelitian, sehingga pelaksanaan penelitian akan berjalan sesuai rencana. Identifikasi kebutuhan dilakukan dengan analisis dokumen dan konsultasi.
- Perancangan *software*, *hardware*, dan sistem: bertujuan untuk membuat gambaran proyek yang akan dibuat. Rancangan yang dibuat akan menjadi pedoman dalam melakukan penelitian. Pada bagian ini dilengkapi dengan flowchart, diagram blok, dan tabel penjelasan.

- d. Integrasi: mengintegrasikan masing-masing rancangan yaitu *software* (pengiriman data), *hardware* (elektronik dan mekanik), dan sistem menjadi satu kesatuan yang saling berhubungan.
- e. Pengujian: pengujian dilakukan untuk mengetahui hasil dan fungsi dari proyek yang telah dibuat apakah sesuai dengan yang diinginkan atau belum. Pengujian dilakukan dengan pengujian masing-masing komponen, pengujian sistem, dan pengujian integrasi.
- f. Hasil akhir: hasil akhir merupakan proyek yang telah dilakukan pengujian sistem. Evaluasi pada bagian ini dilakukan dengan analisis hasil dan kinerja integrasi alat. Jika belum sesuai, maka akan dilakukan pengujian kembali hingga mendapatkan hasil yang sesuai keinginan.

3.1 Identifikasi Kebutuhan

3.1.1 You Only Look Once (YOLO) V8

YOLO merupakan model deteksi objek *real time* yang digunakan untuk mendeteksi objek dalam bentuk video atau gambar. Algoritma ini dirancang untuk mengambil gambar masukan, mengolah fitur-fitur gambar melalui sistem prediksi, kemudian menggambar *bounding box* di sekitar objek-objek yang terdeteksi, sambil memberikan prediksi kelas objek tersebut [14].

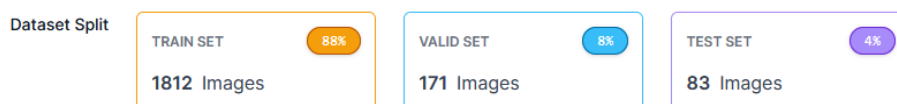


Gambar 2. Arsitektur YOLOv8

Gambar 2 merupakan arsitektur YOLOv8 yang mengimplementasikan dua neural network, yaitu Feature Pyramid Network (FPN) dan Path Aggregation Network (PAN). Adanya gabungan fitur-fitur ini dirancang untuk mempermudah proses anotasi gambar dalam *training* model, menjadikan prosesnya lebih efisien dan mudah dilakukan [15].

3.1.2 Dataset

Dataset penelitian ini diproses dalam *website* Roboflow dengan 4 kelas penyakit yaitu *earworm*, *flea beetle's damage*, *leaf spot*, dan *leafhopper*. Gambar dataset dilakukan proses *preprocessing* seperti mengubah dimensi gambar 640x640, format RGB, dan dibagi menjadi 3 bagian yaitu *training*, *validation*, dan *test*. Gambar 3 menunjukkan pembagian dataset.



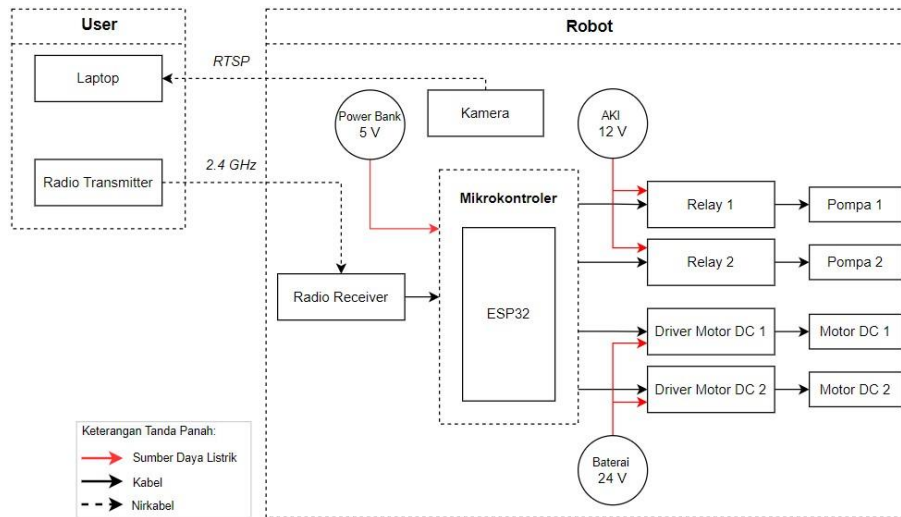
Gambar 3. Pembagian Dataset

Setelah dibagi menjadi 3 bagian, dataset *training* di lakukan proses *augmentation* untuk menambah variasi dataset sehingga model menerima lebih banyak contoh *training*. *Augmentation* yang dilakukan yaitu *flip*, *90° rotate*, *crop*, *rotation*, *brightness*, dan *blur*.

3.2 Perancangan Alat

Perancangan alat pada penelitian yang dilakukan terdiri dari hardware (elektronik dan mekanik), software (pengiriman data), dan sistem secara keseluruhan.

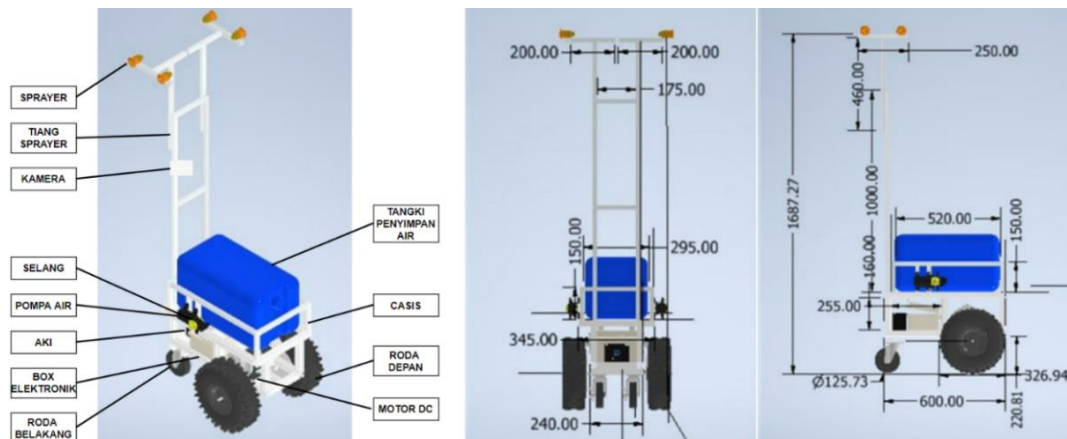
3.2.1 Rancangan Elektronik



Gambar 4. Blok Diagram Elektronik

Gambar 4 menunjukkan komponen elektronik terbagi menjadi dua bagian yaitu komponen yang dipegang dan dikendalikan oleh pengguna, seperti laptop dan radio transmitter, serta komponen yang terpasang dalam robot. Mikrokontroler ESP32 berperan sebagai pemroses sinyal dan data yang juga mengendalikan outputnya. Sumber daya listrik untuk ESP32 dan komponen lain yang membutuhkan tegangan 5V dipasok oleh power bank, sementara motor DC sebagai penggerak robot menggunakan driver BTS7960 dengan tegangan 24V dari baterai LiFePo4. Sistem semprot robot menggunakan relay dan pompa 12V, serta sistem deteksi menggunakan laptop sebagai pemroses deteksi objek dan kamera smartphone untuk menangkap video dengan *Real Time Streaming Protocol* (RTSP).

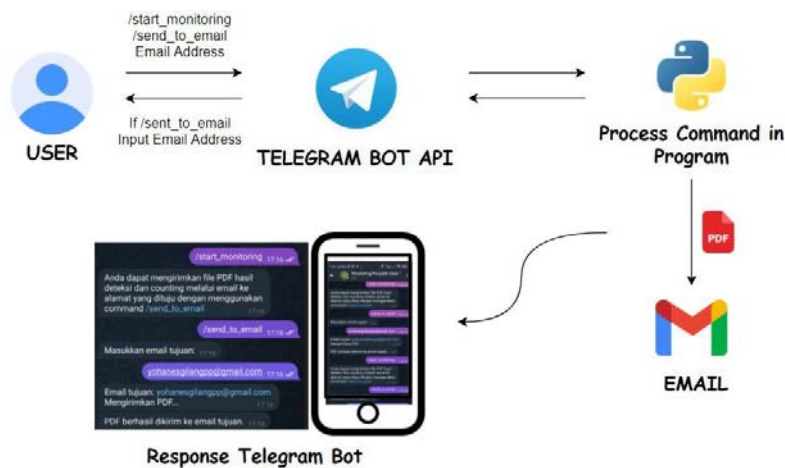
3.2.2 Rancangan Mekanik



Gambar 5. Desain Mekanik Robot

Pada desain gambar 5, robot memiliki ukuran panjang 600 mm, lebar 500 mm, dan tinggi tiang sprayer yang dapat diatur antara 750 mm hingga 1687,27 mm dengan lebar 175 mm. Peletakan setiap komponen diatur agar mudah diakses, termasuk kotak elektronik yang tahan air dan jeriken air atau pestisida berkapasitas 30 liter yang dapat diturunkan untuk diisi ulang. Sistem gerak robot memungkinkan belokan di tempat tanpa sistem kemudi, dengan roda bergerak berlawanan arah untuk belok kanan atau kiri. Selain itu, smartphone android ditempatkan di salah satu sisi robot dan peletakan kabel juga memperhatikan aspek keamanan K3 untuk memastikan keselamatan pengguna.

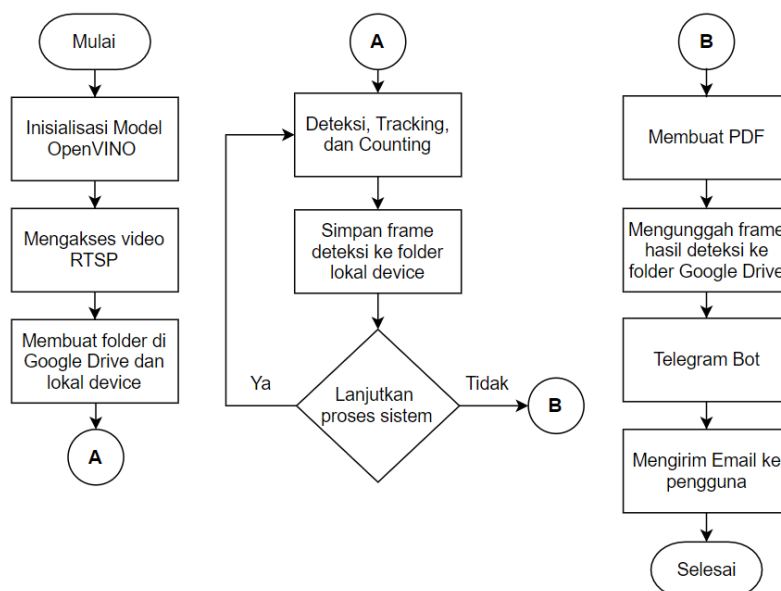
3.2.3 Rancangan Pengiriman Data



Gambar 6. Alur Pengiriman Data Menggunakan Telegram Bot

Pengiriman data ke email diproses menggunakan Telegram Bot yang bernama "Monitoring Penyakit Daun Terung". Data yang dikirim berupa file PDF yang berisi informasi hasil deteksi dan penghitungan penyakit pada daun tanaman terung. Pengguna dapat masuk ke Telegram Bot dan memasukkan perintah `/start_monitoring` untuk menampilkan cara mengirimkan data ke email. Selanjutnya, dengan menggunakan perintah `/send_to_email`, pengguna diminta memasukkan alamat email tujuan. Jika berhasil, file PDF akan terkirim ke email yang telah dimasukkan, dan pengguna akan menerima notifikasi bahwa PDF berhasil dikirim ke email. Seluruh proses ini menggunakan Telegram Bot API dan diimplementasikan melalui program Python seperti pada gambar 6.

3.2.4 Rancangan Sistem



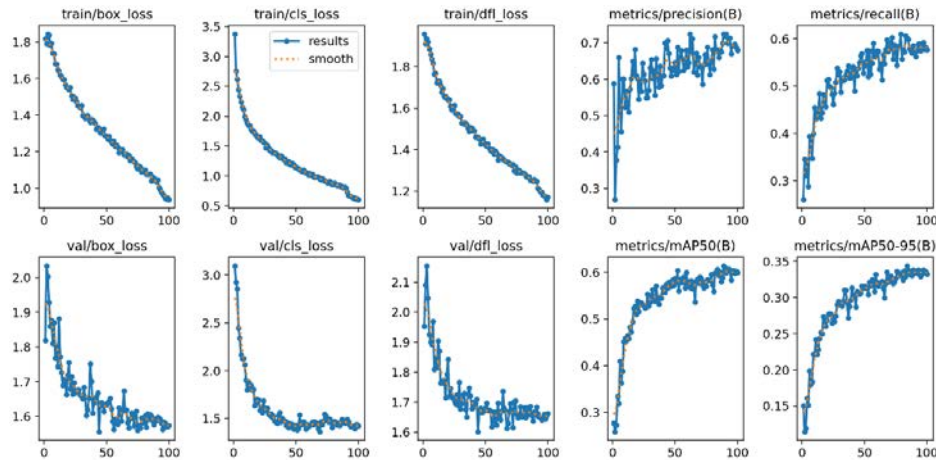
Gambar 7. Flowchart Keseluruhan Sistem

Proses program ditunjukkan pada gambar 7, dimulai dengan mengimpor *library* dan modul yang diperlukan serta memuat model deteksi OpenVINO dari penyimpanan lokal. Video *live streaming* dari smartphone Android diakses menggunakan IP Webcam dan protokol RTSP. Proses kemudian membuat folder di penyimpanan lokal dan Google Drive untuk menyimpan frame yang terdeteksi penyakit. Selanjutnya proses deteksi menggunakan YOLOv8, pelacakan objek dengan *Simple Online*

and Realtime Tracking (SORT), serta penghitungan penyakit pada daun tanaman terung. Frame yang terdeteksi penyakit disimpan di folder lokal. Setelah program deteksi berhenti, file PDF dibuat dan disimpan di folder lokal, kemudian frame hasil deteksi diunggah ke Google Drive. Pengguna dapat menggunakan Telegram Bot untuk mengirim file PDF ke email yang ditentukan.

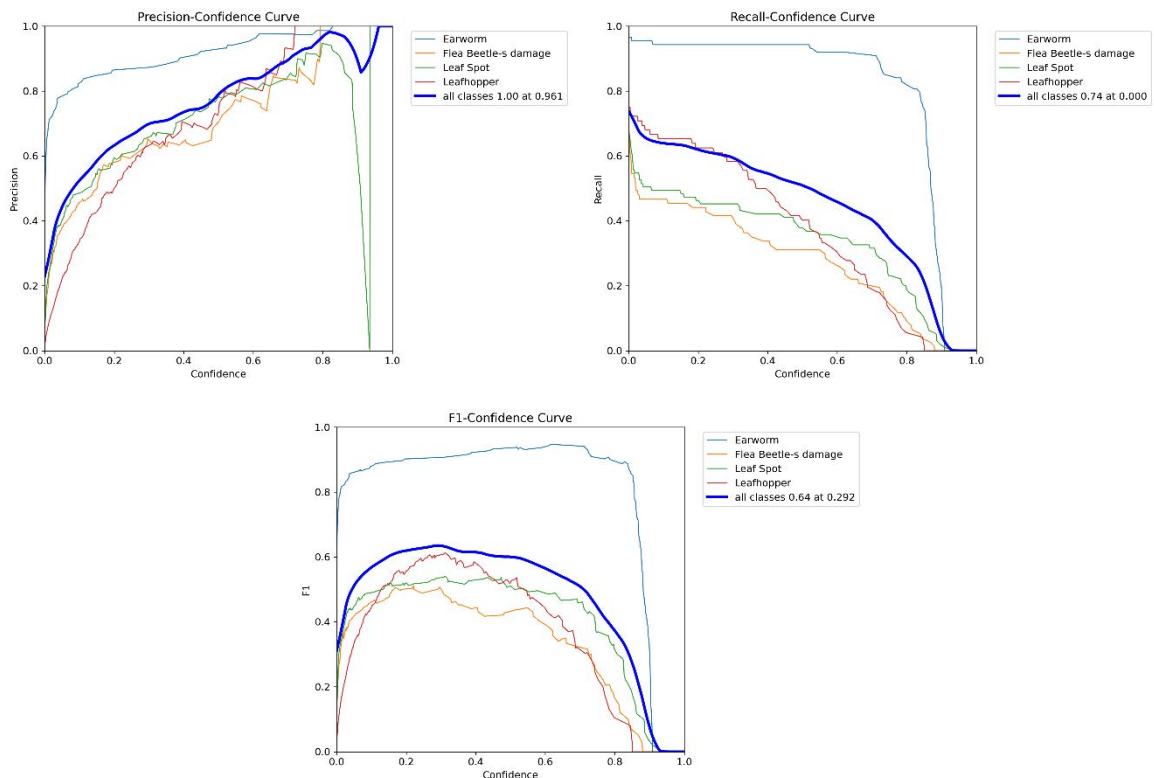
4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Training Dataset



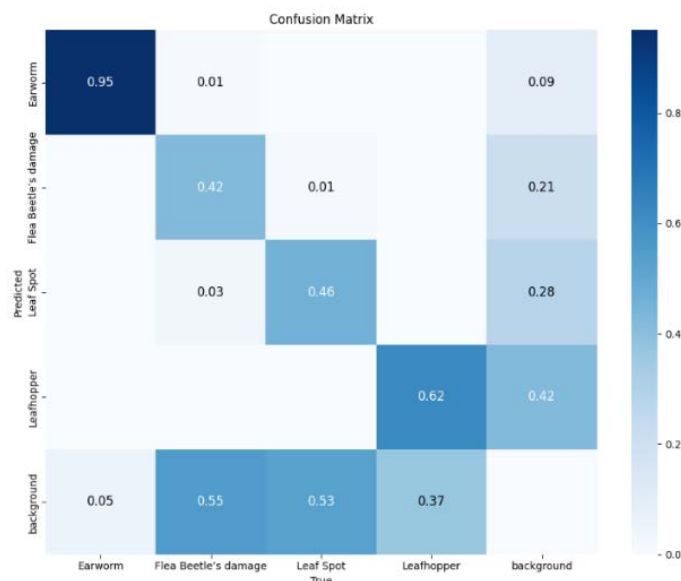
Gambar 8. Hasil Training Dataset

Training dataset dilakukan dengan menggunakan Google Colaboratory karena dapat mempercepat proses dengan GPU. Kategori YOLOv8 yang digunakan yaitu YOLOv8n karena paling ringan dan tercepat dibanding kategori lainnya. Format model yang dihasilkan Pytorch (.pt). Terdapat beberapa parameter lain seperti 100 epoch, ukuran *image* 640, waktu *training* 1,133 jam. Gambar 8 merupakan grafik hasil keseluruhan proses *training* yang memuat informasi data *loss* (*training* dan *validation*), mAP50, mAP50-95, *precision*, dan *recall*. Grafik *loss* menunjukkan adanya penurunan setiap epoch sehingga model yang dihasilkan semakin baik dalam melakukan prediksi. mAP50 model sebesar 0,606 dan mAP50-95 model sebesar 0,344 untuk keseluruhan kelas penyakit.



Gambar 9. Precision, Recall, dan F1 Score

Precision menunjukkan jika model memiliki *precision* 1.00 pada *threshold* 0.961 untuk semua kelas. *Recall* yang dihasilkan adalah 0.74 di *threshold* 0.00 yang menunjukkan jika model dapat mendeteksi 74% dari semua data positif yang dideteksi dengan benar. *F1 score* mendapatkan hasil 0,64 di *threshold* 0,292. Hal tersebut menunjukkan jika pada *threshold* 0,292, model memiliki kinerja baik dalam melakukan prediksi objek. Hasil grafik tersebut ditampilkan pada gambar 9.



Gambar 10. Confusion Matrix

Akurasi model dihitung berdasarkan *confusion matrix* pada gambar 10 dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Akurasi} &= \frac{TP+TN}{TP+TN+FN+TN} \\
 &= \frac{0,95+0,42+0,46+0,62}{0,95+0,42+0,46+0,62+0,03+0,01+0,01} \\
 &= \frac{2,45}{2,5} \\
 &= 0,98
 \end{aligned}$$

Pada penelitian ini untuk mendeteksi penyakit daun terung memperoleh akurasi model sebesar 0,98 atau 98% menunjukkan model dapat mengklasifikasi objek dengan akurasi yang baik.

4.2. Pengiriman Data Telegram Bot

Data file PDF yang dikirimkan ke email melalui Telegram Bot terdapat *time delay* saat pengiriman. Selain itu, juga mengetahui apakah PDF berhasil terkirim atau tidak. Jika terkirim, dalam Telegram Bot akan ada pesan “PDF berhasil dikirim ke email tujuan”.

Tabel 1. Hasil Pengujian *Time Delay* Pengiriman Data

| No | <i>Time Delay</i> PDF Terkirim | Status |
|----|--------------------------------|----------|
| 1 | 11,94 detik | Terkirim |
| 2 | 12,06 detik | Terkirim |
| 3 | 12,77 detik | Terkirim |
| 4 | 11,47 detik | Terkirim |
| 5 | 11,70 detik | Terkirim |

Hasil pengujian pada table 1 menunjukkan bahwa pengiriman file PDF melalui Telegram Bot memiliki rata-rata *time delay* 11,99 detik. Perbedaan *time delay* dipengaruhi kekuatan sinyal smartphone. Setiap pengiriman berhasil tanpa kegagalan, menunjukkan keandalan dan konsistensi sistem.

4.3. Deteksi YOLOv8 Menggunakan Video

Pengujian dilakukan untuk menghitung penyakit daun tanaman terung dengan merekam video dari sisi kanan dan kiri pada tiga kelompok yang terdiri dari 3, 5, dan 10 tanaman. Data yang diambil dari rekaman video tersebut kemudian dianalisis untuk mendeteksi jumlah penyakit pada daun. Hasil deteksi (prediksi) dibandingkan dengan total penyakit aktual yang ada pada tanaman untuk menghitung tingkat akurasi sistem.

Tabel 2. Hasil Pengujian Menggunakan 3 Tanaman Terung

| No | Video | | | Jumlah | | Akurasi |
|----|-------|---------------------|-------|---|---|---------|
| | Sisi | Waktu | FPS | Aktual | Prediksi | |
| 1 | kanan | 1 menit 11 detik | 10,72 | Earworm: 0 Flea Beetle's damage: 20 Leaf Spot: 3 Leafhopper: 0 | Earworm: 0 Flea Beetle's damage: 22 Leaf Spot: 3 Leafhopper: 1 | 86,9% |
| 2 | kanan | 51 detik | 12,8 | Earworm: 0 Flea Beetle's damage: 11 Leaf Spot: 2 Leafhopper: 0 | Earworm: 0 Flea Beetle's damage: 14 Leaf Spot: 0 Leafhopper: 0 | 92,3% |
| 3 | kiri | 59 detik | 8,55 | Earworm: 0 Flea Beetle's damage: 9 Leaf Spot: 0 Leafhopper: 0 | Earworm: 0 Flea Beetle's damage: 10 Leaf Spot: 0 Leafhopper: 2 | 66,6% |
| 4 | kiri | 1 menit 5 detik | 9,04 | Earworm: 0 Flea Beetle's damage: 11 Leaf Spot: 2 Leafhopper: 0 | Earworm: 0 Flea Beetle's damage: 22 Leaf Spot: 0 Leafhopper: 1 | 23,07% |

Berdasarkan hasil tabel 2 akurasi deteksi tertinggi terdapat pada percobaan ke-2 pengambilan video dari sisi kanan dengan akurasi 92,3% dan waktu pemrosesan video 51 detik, selain itu juga mendapatkan FPS tertinggi 12,8 FPS. Sedangkan terendah ada pada percobaan ke-4 dengan pengambilan video dari sisi kiri mendapat akurasi 23,07 dan 9,04 FPS.

Tabel 3. Hasil Pengujian Menggunakan 5 Tanaman Terung

| No | Video | | | Jumlah | | Akurasi |
|----|-------|---------------------|-------|---|---|---------|
| | Sisi | Waktu | FPS | Aktual | Prediksi | |
| 1 | kanan | 1 menit 30 detik | 12,16 | Earworm: 0 Flea Beetle's damage: 17 Leaf Spot: 5 Leafhopper: 0 | Earworm: 0 Flea Beetle's damage: 32 Leaf Spot: 5 Leafhopper: 0 | 31,8% |
| 2 | kanan | 1 menit 34 detik | 11,3 | Earworm: 0 Flea Beetle's damage: 23 Leaf Spot: 5 Leafhopper: 0 | Earworm: 0 Flea Beetle's damage: 32 Leaf Spot: 0 Leafhopper: 0 | 85,7% |
| 3 | kiri | 1 menit 40 detik | 8,81 | Earworm: 0 Flea Beetle's damage: 15 Leaf Spot: 5 Leafhopper: 0 | Earworm: 0 Flea Beetle's damage: 22 Leaf Spot: 8 Leafhopper: 5 | 75% |
| 4 | kiri | 1 menit 52 detik | 8,93 | Earworm: 0 Flea Beetle's damage: 17 Leaf Spot: 5 Leafhopper: 0 | Earworm: 0 Flea Beetle's damage: 28 Leaf Spot: 2 Leafhopper: 3 | 50% |

Berdasarkan hasil tabel 3 akurasi deteksi tertinggi terdapat pada percobaan ke-2 dengan akurasi 85,7% dan waktu 1 menit 34 detik. FPS akhir dari proses deteksi yaitu 11,3 FPS. Sedangkan akurasi terendah pengujian ke-1 mendapatkan 31,8%, namun mendapat FPS tertinggi yaitu 12,16.

Tabel 4. Hasil Pengujian Menggunakan 10 Tanaman Terung

| No | Video | | | Jumlah | | Akurasi |
|----|-------|---------------------|-------|---|---|---------|
| | Sisi | Waktu | FPS | Aktual | Prediksi | |
| 1 | kanan | 2 menit 3 detik | 11,68 | Earworm: 0 Flea Beetle's damage: 37 Leaf Spot: 5 Leafhopper: 0 | Earworm: 0 Flea Beetle's damage: 37 Leaf Spot: 2 Leafhopper: 1 | 95,2% |
| 2 | kanan | 2 menit 50 detik | 8,72 | Earworm: 0 Flea Beetle's damage: 33 Leaf Spot: 6 Leafhopper: 0 | Earworm: 1 Flea Beetle's damage: 42 Leaf Spot: 6 Leafhopper: 1 | 71,7% |
| 3 | kiri | 3 menit 29 detik | 8,7 | Earworm: 0 Flea Beetle's damage: 32 Leaf Spot: 8 Leafhopper: 0 | Earworm: 1 Flea Beetle's damage: 38 Leaf Spot: 1 Leafhopper: 4 | 90% |
| 4 | kiri | 3 menit 6 detik | 8,58 | Earworm: 0 Flea Beetle's damage: 27 Leaf Spot: 7 Leafhopper: 0 | Earworm: 1 Flea Beetle's damage: 31 Leaf Spot: 0 Leafhopper: 1 | 97,05% |

Berdasarkan hasil tabel 4 akurasi deteksi tertinggi terdapat pada percobaan ke-4 dengan akurasi 97,05% dan waktu 3 menit 6 detik serta mendapat 8,58 FPS. Sedangkan akurasi terendah pada pengujian ke-2 dengan nilai 71,7% dan waktu 2 menit 50 detik serta mendapat 8,72 FPS.

Dari tiga pengujian YOLOv8 menggunakan video, akurasi deteksi bervariasi dari 23,07% hingga 97,05%, hal tersebut dipengaruhi oleh kondisi pencahayaan, pergerakan daun, dan fokus serta stabilitas kamera. Kondisi pencahayaan yang kurang optimal, pergerakan daun akibat angin, dan fokus serta stabilitas kamera sangat mempengaruhi kualitas gambar dan akurasi deteksi. FPS selama pengujian juga bervariasi, dengan tertinggi 12,8 dan terendah 8,55. Pada awal pengujian FPS cenderung meningkat dan setelah mencapai kondisi maksimal mengalami kondisi naik-turun atau tidak stabil. Optimasi pencahayaan, meminimalkan pergerakan daun, dan memastikan kamera yang stabil serta fokus yang tepat dapat meningkatkan akurasi dan stabilitas FPS. Meskipun ada tantangan, model YOLOv8 tetap mampu mendeteksi gejala penyakit dengan baik.

Contoh hasil frame yang terdeteksi penyakit daun tanaman terung ditunjukkan pada gambar 11.



Gambar 11. Frame Terdeteksi Penyakit

5. Kesimpulan

Sistem deteksi menggunakan YOLOv8 dapat melakukan deteksi dan penghitungan empat jenis penyakit daun tanaman terong dengan video dan secara *real time*. Selain itu, pengiriman data dalam bentuk file PDF melalui Telegram Bot dapat dilakukan dengan lancar. *Training* model YOLOv8, diperoleh mAP50 sebesar 0,606 dengan 100 epoch dan waktu training selama 1,133 jam. Akurasi model yang diukur menggunakan *confusion matrix*, mencapai 98%. Saat mendeteksi penyakit pada video, akurasi tertinggi yang dicapai adalah 97,05%, sedangkan akurasi terendah sebesar 23,07%. Hasil tersebut dapat ditingkatkan dengan menambah variasi dataset, misalnya melalui teknik augmentasi. Selain itu, memaksimalkan penggunaan GPU selama proses *inference* akan meningkatkan FPS dan penggunaan gimbal pada smartphone yang dipasang di robot akan mengurangi getaran video selama proses deteksi, sehingga hasil deteksi lebih stabil dan akurat.

Daftar Pustaka

- [1] A. Al Fandi, R. Muchtar, and N. Notarianto, "Pengaruh media tanam terhadap pertumbuhan tanaman terong (*Solanum melongena* L.) dengan sistem hidroponik," *Jurnal Ilmiah Respati*, vol. 11, no. 2, pp. 114-127, 2020.
- [2] Badan Pusat Statistik, "Produksi Tanaman Sayuran," 2023. [Online]. Available: <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/NjEjMg==/produksi-tanaman-sayuran.html>. [27 November 2023].
- [3] M. G. Jayanthi, D. R. Shashikumar, and S. Preethi "Eggplant leaf disease detection and segmentation using adaptively regularized multi Kernel-Based Fuzzy C-Means and Optimal PNN classifier," *Indian Journal of Computer Science and Engineering*, vol. 13, no. 5, pp. 1543-1558, 2022.
- [4] P. Jiang, Y. Chen, B. Liu, D. He, and C. Liang, "Real-time detection of apple leaf diseases using deep learning approach based on improved convolutional neural networks," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 59069–59080, 2019.
- [5] M. Shoaib, B. Shah, S. El-Sappagh, A. Ali, A. Ullah, F. Alenezi, T. Gechev, T. Hussain, and F. Ali, "An advanced deep learning models-based plant disease detection: A review of recent research," *Frontiers in Plant Science*, vol. 14, p. 1158933, 2023.
- [6] M. R. Haque and F. Sohel, "Deep network with score level fusion and inference-based transfer learning to recognize leaf blight and fruit rot diseases of eggplant," *Agriculture*, vol. 12, no. 8, p. 1160, 2022.
- [7] Rachmawati, R.R. "Smart Farming 4.0 untuk Mewujudkan Pertanian Indonesia Maju, Mandiri, dan Modern," *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, vol. 38, no. 2, hal. 137-154, 2020.
- [8] J.-a. Kim, J.-Y. Sung, and S.-h. Park, "Comparison of Faster R-CNN, YOLO, and SSD for Real-Time Vehicle Type Recognition," in *2020 IEEE International Conference on Consumer Electronics-Asia*, pp. 1–4, 2020.
- [9] P. K. Sethy, N. K. Barpanda, A. K. Rath, dan S. K. Behera, "Deep feature based rice leaf disease identification using support vector machine," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 175, pp. 105527, 2020.
- [10] K. Zhang, Q. Wu, and Y. Chen, "Detecting soybean leaf disease from synthetic image using multi-feature fusion faster R-CNN," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 183, p. 106064, 2021
- [11] H. Li, L. Shi, S. Fang, and F. Yin, "Real-time detection of apple leaf diseases in natural scenes based on YOLOv5," *Agriculture*, vol. 13, no. 4, p. 878, 2023.
- [12] M. J. A. Soeb, M. F. Jubayer, T. A. Tarin, M. R. Al Mamun, F. M. Ruhad, A. Parven, ... and I. M. Meftaul, "Tea leaf disease detection and identification based on YOLOv7 (YOLO-T)," *Scientific Reports*, vol. 13, no. 1, p. 6078, 2023.
- [13] R. Gajjar, N. Gajjar, V. J. Thakor, N. P. Patel, and S. Ruparelia, "Real-time detection and identification of plant leaf diseases using convolutional neural networks on an embedded platform," *The Visual Computer*, pp. 1-16, 2022.
- [14] M. J. Jhatial, R. A. Shaikh, N. A. Shaikh, S. Rajper, R. H. Arain, G. H. Chandio, A. Q. Bhangwar, H. Shaikh, and K. H. Shaikh, "Deep learning-based rice leaf diseases detection using yolov5," *Sukkur IBA Journal of Computing and Mathematical Sciences*, vol. 6, no. 1, pp. 49-61, 2022.
- [15] I. P. Sary, S. Andromeda, and E. U. Armin, "Performance comparison of yolov5 and yolov8 architectures in human detection using aerial images," *Ultima Computing: Jurnal Sistem Komputer*, vol. 15, no. 1, pp. 8-13, 2023.

Sales Forecasting Menggunakan Random Forest Regression Dengan Particle Swarm Optimization Pada Penjualan Superstore

Gede Gery Sastrawan^{a1}, I Putu Gede Hendra Suputra^{a2}, Ida Bagus Gede Dwidasmara^{a3}, Ida Ayu Gde Suwiprabayanti Putra^{a4}

^aProgram Studi Informatika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana

Kuta Selatan, Badung, Bali, Indonesia

¹gerysastrawan123@gmail.com

²hendra.suputra@unud.ac.id

³dwidasmara@unud.ac.id

⁴iagsuwiprabayantiputra@unud.ac.id

Abstract

In the current digital era, the ever-increasing volume of data highlights the significance of Big Data, encompassing data with large scale, variety, and complexity that poses challenges in storage, analysis, and visualization. Accurate sales forecasting, crucial in a competitive and dynamic business environment, provides critical insights for companies across various sectors. Tree-based machine learning algorithms, such as Random Forest and Gradient Boosting, are popularly employed for this purpose. Method optimization becomes essential to enhance the quality of results and relevance to the utilized data. Particle Swarm Optimization (PSO) is one technique that can be employed for this purpose. The Random Forest method is susceptible to overfitting, posing a major challenge in its usage. This research evaluates the performance of the Random Forest Regression algorithm optimized using Particle Swarm Optimization (PSO) for Superstore sales forecasting, compared to Grid Search and Randomized Search. The PSO-optimized model achieved an error value of 187.68 on the entire training data and 254.32 on the entire testing data. Grid Search has an error value that is superior to PSO but is not too significant. Apart from that, PSO has advantages compared to other optimization algorithms in that it has the shortest optimization time, namely 40 minutes 42 seconds, compared to Grid Search which takes up to 710 minutes 31.5 seconds and PSO allows users to easily tune the hyperparameters of the optimization algorithm that allows users to get better optimization results. Black-box testing demonstrates that the system functions effectively according to user requirements.

Keywords: Sales Forecasting, Random Forest Regression, Particle Swarm Optimization, Grid Search, Randomized Search, Overfitting, Black Box Testing.

1. Pendahuluan

Seiring berjalannya waktu, jumlah data yang dikumpulkan oleh sebuah sistem tentunya akan bertambah dan terus bertambah. Data merupakan sebuah hal yang sangat penting di jaman sekarang. Menurut Forbes, 59% dari bisnis yang ada menggunakan analitik data dengan cara yang berbeda-beda untuk mengambil keputusan yang lebih baik dan meningkatkan performa bisnis mereka. Big Data merupakan sebuah istilah untuk kumpulan data yang besar sekali yang memiliki besar, variasi, dan struktur yang kompleks dengan kesulitan untuk menyimpan, menganalisis, dan memvisualisasikan untuk proses lebih lanjut atau hasilnya[1]. Big data merupakan sebuah kombinasi dari data terstruktur, semiterstruktur, tidak terstruktur yang dikumpulkan oleh perusahaan yang dapat digali sebagai

informasi dan digunakan pada proyek machine learning, predictive modeling, dan aplikasi analitik lainnya. Big Data sering dikarakteristikan oleh tiga V yaitu: volume, variety, dan velocity[2]. Dengan adanya banyak karakteristik tersebut, terdapat banyak tantangan dalam memproses suatu Big Data untuk memperoleh wawasan dari Big Data tersebut. Tantangannya meliputi tantangan data, tantangan pemrosesan, dan tantangan manajemen data[3]. Salah satu bidang yang memanfaatkan big data ialah sektor penjualan. Dengan adanya data penjualan yang dikumpulkan oleh perusahaan, perusahaan dapat mengolah data tersebut dan mendapat wawasan yang dapat kita gunakan untuk membantu perusahaan dalam pengambilan keputusan.

Pada lingkungan bisnis saat ini yang sangat kompetitif dan secara konstan berubah, perkiraan penjualan yang akurat, yang disebut juga sebagai sales prediction atau sales forecasting, dan menawarkan pengetahuan yang penting kepada perusahaan baik dalam bidang manufaktur, grosir, maupun eceran produk. Prediksi short-term dapat membantu dalam perencanaan produksi dan manajemen stok barang, di sisi lain prediksi long-term dapat membantu dalam pengambilan keputusan untuk pengembangan bisnis. Sales forecasting biasanya dilakukan sewenang - wenang oleh manajer. Namun, manajer dengan kemampuan yang baik sangatlah sulit ditemukan. Maka dari itu, sales forecasting harus dibantu oleh sistem komputer yang dapat membantu manajer untuk mengambil keputusan yang baik dengan memberikan perkiraan dari penjualan yang akan datang[4]. Saat ini, sudah banyak model machine learning yang dapat digunakan untuk melakukan sales forecasting. Sales forecasting atau sales prediction lebih cocok disebut sebagai masalah regression dibandingkan dengan masalah time series. Praktek menunjukkan bahwa penggunaan pendekatan regression sering memberikan kita hasil yang lebih baik dibandingkan metode time series. Kita dapat menemukan pola yang rumit pada dinamika penjualan menggunakan metode supervised machine learning. Beberapa algoritma machine learning yang populer merupakan algoritma berbasis tree seperti Random Forest, dan Gradient Boosting[5]. Dengan berdasarkan hal itu, kita dapat menggunakan model regresi Random Forest untuk melakukan forecasting khususnya pada masalah ini ialah pada data penjualan.

Pengoptimisasian suatu metode atau algoritma merupakan suatu hal yang wajar. Hal ini dilakukan agar hasil yang kita dapatkan menjadi lebih baik dan metode yang kita gunakan menjadi lebih cocok dengan data yang kita gunakan. Salah satu algoritma yang dapat digunakan untuk pengoptimisasian ialah Particle Swarm Optimization (PSO) yang merupakan salah satu algoritma yang terinspirasi dari makhluk hidup dan sederhana untuk mencari sebuah solusi optimal dalam sebuah ruang solusi. Berbeda dengan algoritma optimisasi lainnya, PSO hanya memerlukan objective function dan tidak bergantung pada gradient atau bentuk diferensial dari objektif nya. PSO juga memiliki sedikit hyperparameter[6].

Seperti yang sebelumnya dinyatakan, Random Forest Regression merupakan salah satu model machine learning yang dapat kita gunakan untuk melakukan sales forecasting. Namun, metode Random Forest memiliki kelemahan yaitu salah satunya adalah rentan terjadinya overfitting, khususnya ketika jumlah tree atau kedalaman dari tree nya terlalu tinggi. Maka dari itu, penelitian ini sangatlah penting untuk dilakukan yaitu dengan tujuan untuk mengetahui apakah metode Random Forest Regression ini dapat dioptimisasi dengan menggunakan suatu algoritma yaitu dalam hal ini menggunakan Particle Swarm Optimization untuk mencari hyperparameter yang lebih baik digunakan pada random Forest Regression untuk melakukan sales forecasting pada data penjualan.

2. Metodologi Penelitian

Penelitian ini penulis bagi ke dalam lima tahap, yaitu analisis permasalahan, pengumpulan dan preprocessing data, analisis kebutuhan sistem, perancangan sistem, dan perancangan pengujian dan evaluasi sistem.

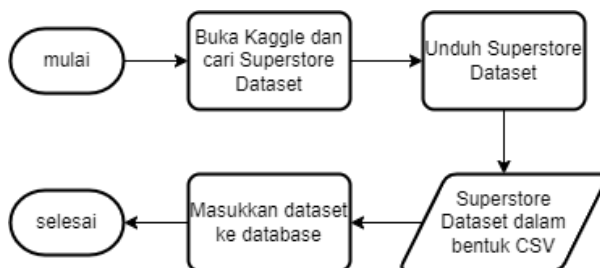
2.1. Analisis Permasalahan

Permasalahan yang ingin diangkat dalam penelitian ini adalah banyaknya data penjualan yang sangat besar dan bervariasi menyebabkan tidak relevannya penggunaan metode sales forecasting tradisional dalam melakukan analisis terhadap data yang sangat besar. Karena kemajuan teknologi, sudah banyak terdapat metode machine learning yang dapat membantu kita dalam melakukan proses sales forecasting terutama pada Big Data, salah satunya ialah metode Random Forest Regression. Metode Random Forest Regression memiliki keunggulan dibanding metode KNN dan Gradient Boosting. Tetapi, metode Random Forest akan rentan mengalami overfitting apabila jumlah tree yang digunakan sangat banyak dan juga memerlukan tuning hyperparameter untuk menentukan suatu hyperparameter

yang dapat memberikan model yang bagus. Maka dari itu, pengoptimalan metode Random Forest sangatlah diperlukan untuk menghindari overfitting.

2.2. Pengumpulan dan Preprocessing Data

Proses pengumpulan dataset dilakukan dengan metode pengambilan data secara manual berdasarkan sumber data. Adapun sumber data yang digunakan adalah dataset Superstore dari Kaggle[7].



Gambar 1. Diagram Alur Pengumpulan Data

Gambar 1 menunjukkan diagram alur pengumpulan data. Pengambilan data dari sumber data dilakukan dengan pengunduhan data dari *repository* kaggle ke *local machine*. Data yang didapat merupakan data dalam bentuk CSV. Kemudian dataset ini disimpan ke dalam database menggunakan *script* Python.

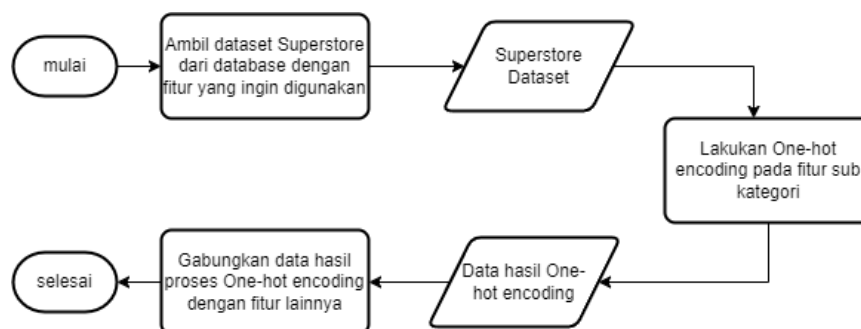
Tabel 1. Spesifikasi Data

| Fitur Data | Deskripsi |
|---------------|--|
| Row ID | ID unik untuk tiap baris |
| Order ID | ID Order unik untuk tiap pelanggan |
| Order Date | Tanggal Order dari produk |
| Ship Date | Tanggal pengiriman dari produk |
| Ship Mode | Mode pengiriman yang ditentukan oleh pelanggan |
| Customer ID | ID unik untuk tiap pelanggan |
| Customer Name | Nama pelanggan |
| Segment | Segmen dimana pelanggan diharuskan |
| Country | Negara dari pelanggan |
| City | Kota dari pelanggan |
| State | Negara bagian dari pelanggan |
| Postal Code | Kode pos dari pelanggan |
| Region | Wilayah dari pelanggan |
| Product ID | ID unik produk |
| Category | Kategori produk yang dipesan |
| Sub-Category | Sub-kategori produk yang dipesan |
| Product Name | Nama produk |

| | |
|----------|-----------------------|
| Sales | Penjualan dari produk |
| Quantity | Jumlah produk |
| Discount | Diskon produk |
| Profit | Keuntungan/kerugian |

Tabel 1 menunjukkan spesifikasi dari data yang digunakan. Data yang diambil merupakan data *time series* yang terdiri dari 9994 sampel data penjualan dari tahun 2014 hingga tahun 2017. Pada dataset ini, terdapat 21 fitur yang berkaitan dengan penjualan seperti yang ditunjukkan pada tabel 1. Data ini terdiri dari 17 sub kategori, 3 kategori, dan 1862 produk yang akan digunakan untuk mewakili sebuah big data penjualan.

Setelah data dikumpulkan, data tersebut akan diproses menggunakan teknik One-hot encoding. One-hot encoding merupakan salah satu teknik yang sering digunakan dalam transformasi data, khususnya untuk menangani data kategorikal dalam machine learning. Teknik ini pada dasarnya mengubah data kategorikal ke dalam format yang dapat dipahami oleh algoritma machine learning. Algoritma machine learning biasanya bekerja dengan data numerik. One-hot encoding mencapai hal ini dengan membuat kolom biner baru untuk setiap kategori dalam variabel kategorikal asli. Setiap kolom biner baru mewakili satu kategori. Nilai 1 pada kolom menunjukkan keberadaan dari kategori tertentu sedangkan nilai 0 menunjukkan ketidakhadirannya. One-hot encoding tidak mengartikan sebuah hirarki atau urutan diantara kategori yang dimana hal ini sangat penting karena kategori kategori yang dipakai mungkin saja tidak memiliki keterkaitan urutan.



Gambar 2. Diagram Alur One-Hot Encoding

Gambar 2 menunjukkan alur dari pengimplementasian One-Hot Encoding pada penelitian ini. Pertama tama, fitur fitur yang diperlukan pada dataset yang telah disimpan akan diambil. Adapun fitur yang diambil adalah *Sub Category*, *Sales*, dan *Order Date*. Kemudian, dilakukan algoritma One-Hot Encoding pada fitur sub kategori untuk mengubahnya dari data kategorikal menjadi data numerik. Hasil dari proses One-Hot Encoding ini akan digabungkan kembali dengan fitur lainnya yang telah diambil.

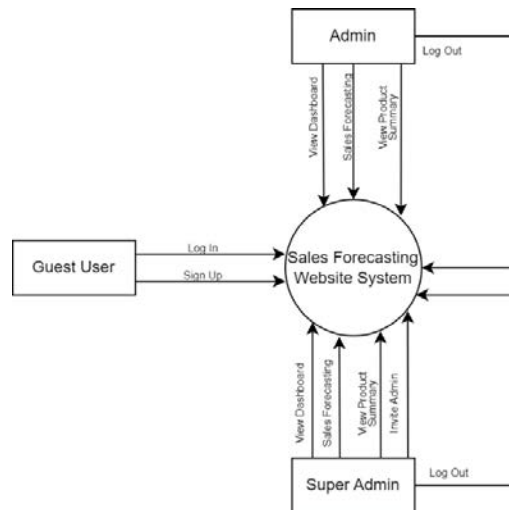
2.3. Analisis Kebutuhan Sistem

Pada tahapan ini, peneliti akan mengumpulkan seluruh informasi mengenai kebutuhan pengguna dengan cara diskusi, observasi, dan atau wawancara. Adapun kebutuhan sistem akan dibagi menjadi dua bagian yaitu kebutuhan fungsional dan kebutuhan non fungsional. Kebutuhan fungsional mendefinisikan apa yang seharusnya dilakukan oleh aplikasi. Kebutuhan ini berfokus pada fitur dan alur kerja aplikasi yang akan digunakan oleh pengguna. Sedangkan, kebutuhan non fungsional mendefinisikan karakteristik dan kualitas aplikasi secara keseluruhan. Kebutuhan ini tidak berfokus pada fitur, tetapi pada bagaimana aplikasi seharusnya berperilaku.

2.4. Perancangan Sistem

Pada penelitian ini, aplikasi akan dibangun berbasis web. Adapun aplikasi yang dibangun dibagi menjadi dua bagian yaitu bagian Frontend dan bagian Backend. Rancangan sistem yang dibuat pada penelitian ini adalah dalam bentuk Context Diagram, Data Flow Diagram, dan Entity Relationship Diagram.

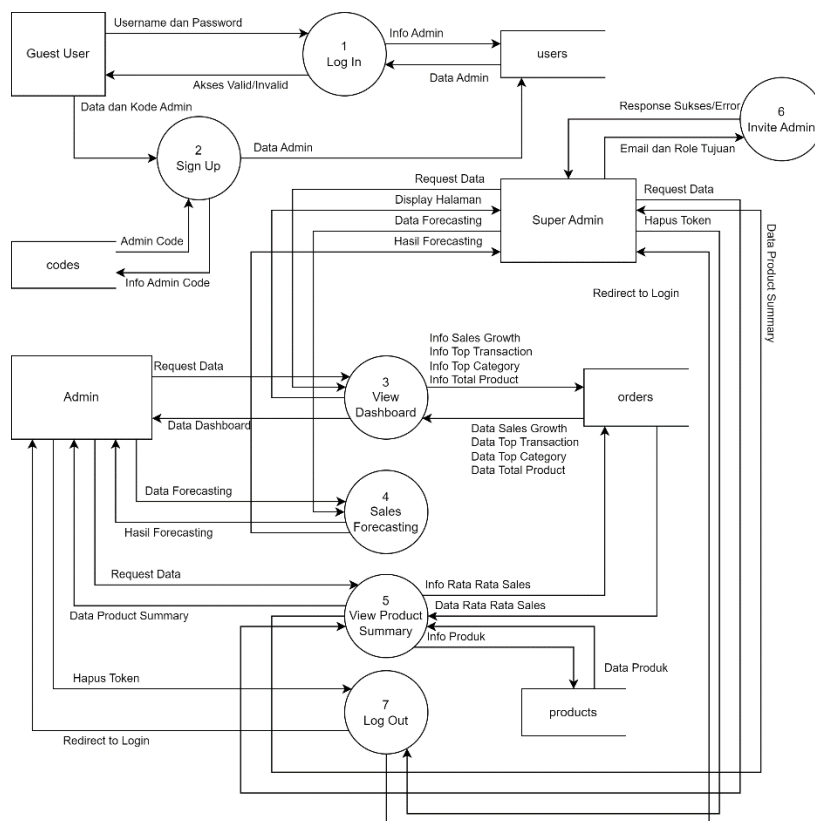
2.4.1. Context Diagram



Gambar 3. Context Diagram

Gambar 3 merupakan diagram konteks dari sistem yang dibuat. Terlihat terdapat tiga entitas eksternal yang berinteraksi dengan sistem yaitu Guest User, Admin, dan Super Admin. Guest User merupakan pengunjung website yang belum melakukan login sehingga tidak atau belum dapat mengakses fitur utama. Admin merupakan seorang pengguna yang telah melakukan login dengan akun yang memiliki *role* Admin. Admin memiliki akses terhadap fitur halaman dashboard, melakukan *sales forecasting*, halaman *product summary*, dan melakukan log out. Sedangkan Super Admin merupakan seorang pengguna yang telah melakukan login dengan akun yang memiliki *role* Super Admin yang dimana Super Admin memiliki akses terhadap fitur yang dapat diakses oleh Admin namun dengan tambahan Super Admin dapat melakukan pengundangan Admin/Super Admin.

2.4.2. Data Flow Diagram (Level 0)



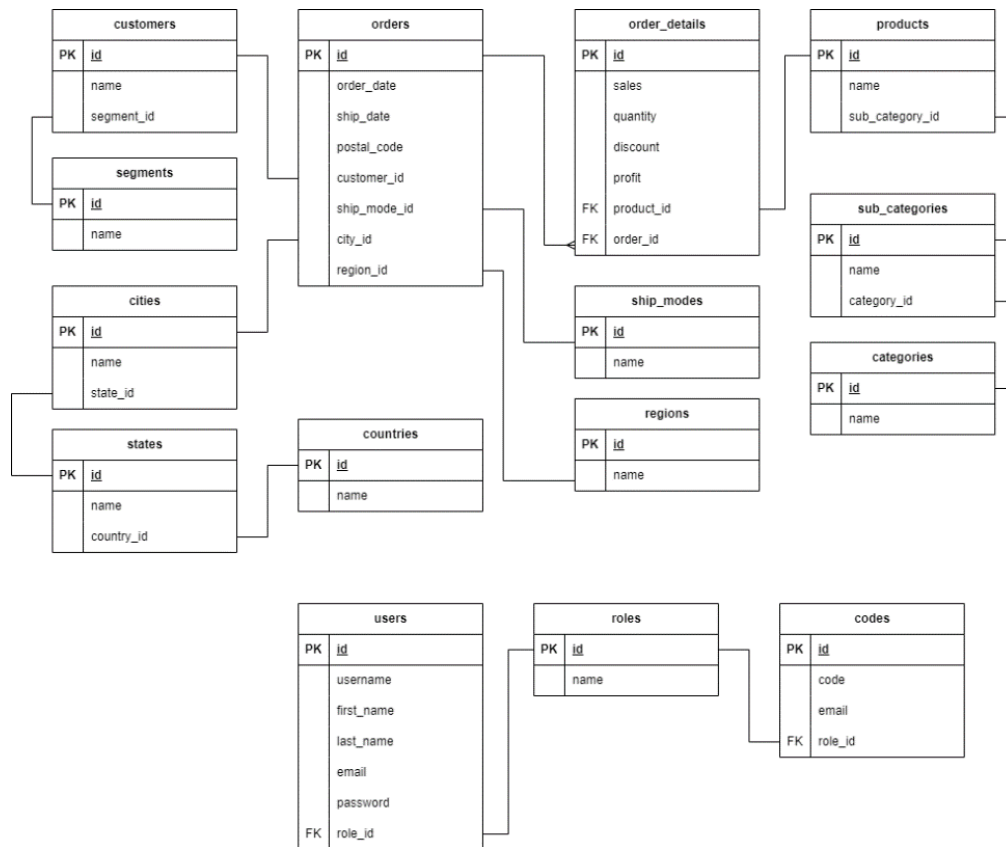
Gambar 4. Data Flow Diagram (Level 0)

Sales Forecasting Menggunakan Random Forest Regression Dengan Particle Swarm Optimization
Pada Penjualan Superstore

Gambar 4 menunjukkan data flow diagram yang dibuat berdasarkan diagram konteks yang sebelumnya telah dibuat pada gambar 3. Data flow diagram ini berisi gambaran aliran data yang lebih detail dari diagram konteks untuk menggambarkan rancangan sebuah sistem. Data flow diagram ini terdiri dari tiga entitas eksternal, tujuh proses, dan empat data store. Berikut penjelasan komponen - komponennya:

- a. Entitas Eksternal
 - Guest User: pengguna yang belum melakukan login
 - Admin: pengguna yang sudah melakukan login dengan akun yang memiliki *role* Admin yang dapat mengakses halaman dashboard, melakukan peramalan penjualan, mengakses halaman product summary, dan melakukan log out.
 - Super Admin: pengguna yang sudah melakukan login dengan akun yang memiliki *role* Super Admin yang dapat mengakses fitur yang dapat diakses oleh Admin dengan tambahan dapat melakukan pengundangan Admin atau Super Admin.
- b. Proses
 - Log In: mengotentikasi pengguna agar dapat mengakses fitur sesuai role.
 - Sign Up: melakukan pendaftaran dengan menggunakan data diri pengguna dan kode admin yang telah dikirim di email.
 - View Dashboard: melihat halaman dashboard yang berisikan informasi seperti pertumbuhan penjualan, kategori barang yang paling banyak dibeli, transaksi yang paling banyak, dan juga total produk yang ada.
 - Sales Forecasting: melakukan peramalan penjualan sesuai bulan, tahun, dan sub kategori yang dimasukkan oleh pengguna.
 - View Product Summary: melihat halaman product summary yang berisikan daftar barang dengan data yang ringkas.
 - Invite Admin: melakukan pengundangan Admin atau Super Admin kepada email yang dimasukkan oleh pengguna yang dimana hanya dapat diakses oleh Super Admin.
 - Log Out: melakukan log out pada akun sehingga kembali ke halaman login dan menjadi Guest User.
- c. Data Store/ Penyimpanan Data
 - Users: menyimpan informasi mengenai pengguna yaitu Admin dan Super Admin.
 - Codes: menyimpan informasi mengenai kode admin dan juga email yang terkait dengan kode tersebut.
 - Orders: menyimpan informasi mengenai pesanan produk yang pernah dilakukan oleh customer.
 - Products: menyimpan informasi mengenai data produk yang ada.

2.4.3. Rancangan Entity Relationship Diagram



Gambar 5. Entity Relationship Diagram

Gambar 5 menunjukkan Entity Relationship Diagram dari basis data yang dirancang pada sistem yang dibuat. Sistem yang akan dibangun menggunakan basis data relasional untuk penyimpanan data. Berdasarkan Entity Relationship Diagram pada gambar 5, terdapat 15 entitas yang diantaranya akan menyimpan data dari dataset superstore dan juga data pengguna. Terdapat tabel customers, segments, orders, cities, states, countries, order_details, ship_modes, regions, products, sub_categories, categories, users, roles, dan codes.

2.5. Perancangan Pengujian dan Evaluasi Sistem

Pengujian untuk model Random Forest Regression akan dilakukan dengan menghitung nilai Mean Absolute Error masing masing model yang telah dibuat menggunakan masing masing algoritma optimisasi. Kemudian, hasil evaluasi akan dibandingkan antara model satu dengan lainnya. Hasil perbandingan tersebut akan digunakan peneliti untuk penarikan kesimpulan.

Sedangkan, pengujian untuk sistem dan tampilan disini akan menggunakan Black Box Testing yang dimana peneliti akan melakukan pengujian secara fungsionalitasnya tanpa memerhatikan kode dari sistem yang dibangun. Skenario pengujian pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. Skenario Pengujian

| Kelas Uji | Butir Uji | Pengujian |
|---|--|-------------------|
| Model Random Forest Regression dengan tuning hyperparameter menggunakan Particle Swarm Optimization, Grid Search, dan Randomized Search | Besar error pada masing - masing model peramalan | MAE |
| Pengujian Login | Pengujian login admin | Black Box Testing |

| | | |
|-------------------------------|--|-------------------|
| Pengujian Sign Up | Pengujian Signup Admin | Black Box Testing |
| Pengujian Dashboard | Pengujian Halaman Dashboard | Black Box Testing |
| Pengujian Peramalan Penjualan | Pengujian pada halaman peramalan | Black Box Testing |
| Pengujian Product Summary | Pengujian pada halaman Product Summary | Black Box Testing |
| Pengujian Undang Admin | Pengujian pada halaman undangan admin | Black Box Testing |

Tabel 2 menunjukkan skenario pengujian yang dilakukan pada penelitian ini baik untuk pengujian model maupun pengujian sistem. Model yang diujikan menggunakan MAE merupakan model hasil *training* menggunakan hyperparameter hasil optimisasi dari masing masing algoritma optimisasi. Sedangkan untuk pengujian black box, yang diujikan adalah fungsionalitas dari sistem melalui tampilan antarmuka yang dibuat.

3. Hasil dan Diskusi

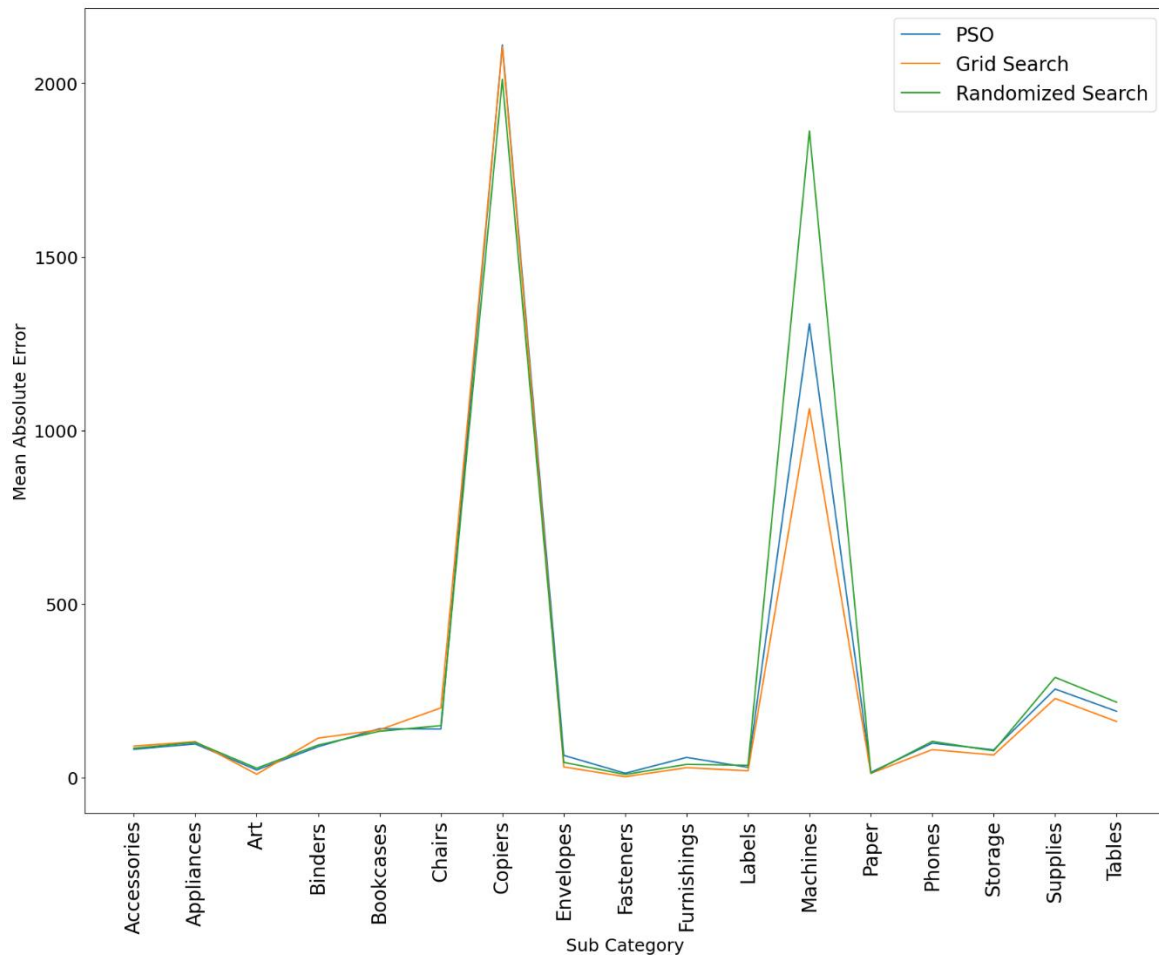
3.1. Hasil Pengujian Error Model

Model yang telah dibuat menggunakan hyperparameter hasil dari optimisasi menggunakan Particle Swarm Optimization, Grid Search, dan Randomized Search dan dilatih menggunakan data training selanjutnya diuji errornya. Pengujian error model dilakukan dengan menggunakan metrik Mean Absolute Error untuk mengetahui rata rata error dari model.

Tabel 3. Hasil Evaluasi Model

| Metode Optimisasi Model | Error Pada Data Training | Error Pada Data Testing | Waktu Pengoptimisasian |
|-------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------|
| PSO | 187.680487 | 254.328478 | 40 menit 42 detik |
| Grid Search | 199.534286 | 234.099818 | 710 menit 31.5 detik |
| Randomized Search | 165.270662 | 285.475800 | 48 menit 48.1 detik |

Tabel 3 menunjukkan hasil evaluasi dari masing masing model. Apabila terlihat sekilas, model dengan optimisasi Randomized Search memiliki nilai error yang paling rendah pada data training namun memiliki nilai error yang paling tinggi pada data testing. Model dengan metode optimisasi Grid Search memiliki error paling rendah pada data testing namun memakan waktu paling lama dibandingkan yang lain. Model dengan metode optimisasi PSO mendapat error yang tidak terlalu tinggi ataupun tidak terlalu rendah dibandingkan yang lainnya. PSO memiliki waktu pengoptimisasian paling cepat dibandingkan Grid Search maupun Randomized Search. Hal ini dikarenakan PSO memiliki fitur yang akan menghentikan proses apabila tidak ada perubahan signifikan saat proses pengoptimisasian berlangsung. Hal ini menjadi keuntungan bagi PSO sehingga pengguna dapat melakukan tuning lagi pada hyperparameter milik PSO untuk mendapat hasil optimisasi yang lebih baik. Sedangkan untuk Grid Search memang dalam hal ini memberikan nilai error yang lebih kecil pada data testing namun Grid Search memiliki waktu pengoptimisasian yang berkali lipat lebih lama dibandingkan algoritma lainnya yaitu selama 710 menit 31,5 detik. Hal ini dapat merugikan pengguna dalam hal waktu apabila pengguna ingin melakukan tuning pada grid milik Grid Search. Performa model tidak dapat secara langsung ditentukan dengan nilai error atau MAE dari rata rata penjualan pada keseluruhan sub kategori. Hal ini memerlukan penelitian lebih lanjut pada masing masing sub kategori. Apabila kita lihat error nilai error dari setiap sub kategori maka akan terlihat seperti grafik berikut.



Gambar 6. Grafik MAE Setiap Sub Kategori

Gambar 6 merupakan data MAE dari setiap sub kategori yang divisualisasikan dalam bentuk grafik garis. Garis yang berwarna biru merupakan data dari model yang menggunakan PSO. Garis yang berwarna oranye merupakan data dari model yang menggunakan Grid Search. Garis yang berwarna hijau merupakan data dari model yang menggunakan Randomized Search. Berdasarkan grafik tersebut, Grid Search lebih unggul dari PSO namun tidak secara signifikan. Hal ini dapat dilihat dari bagaimana PSO lebih unggul dari Grid Search pada beberapa sub kategori.

Apabila dilihat dalam hal kecepatan pemrosesan, PSO lebih unggul secara signifikan dari Grid Search maupun Randomized Search. Hal ini dapat dilihat dari kecepatan pemrosesan PSO yaitu 40 menit 42 detik yang unggul dari Randomized Search yang dimana selama 48 menit 48,1 detik dan unggul jauh dari Grid Search yang dimana selama 710 menit 31,5 detik. Dengan keunggulan kecepatan pemrosesan ini, pengguna tentunya diuntungkan ketika ingin melakukan tuning hyperparameter dari algoritma optimisasi terkait untuk mendapat hasil optimisasi yang lebih baik.

Pada grafik sebelumnya terlihat bahwa terdapat lonjakan error pada beberapa sub kategori misalnya pada “Copiers” dibandingkan dengan sub kategori lainnya seperti “Fasteners”. Hal ini terjadi karena adanya fluktuasi harga yang besar yang menyebabkan besarnya error seperti terlihat pada gambar berikut.

The screenshot shows a data table with columns for various product categories and sales metrics. The 'Copiers' column is highlighted, showing values of 1.0 for most rows. The 'Order Month' and 'Order Year' columns show data for the year 2017. The 'Sales' column shows values ranging from 2999.949951 to 1669.971954.

| | Accessories | Appliances | Art | Binders | Bookcases | Chairs | Copiers | Envelopes | Fasteners | Furnishings | Labels | Machines | Paper | Phones | Storage | Supplies | Tables | Order Month | Order Year | Sales |
|-----|-------------|------------|-----|---------|-----------|--------|---------|-----------|-----------|-------------|--------|----------|-------|--------|---------|----------|--------|-------------|------------|--------------|
| 50 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1 | 2017 | 2999.949951 |
| 174 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3 | 2017 | 3553.303650 |
| 306 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5 | 2017 | 3359.951904 |
| 435 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 7 | 2017 | 1159.971313 |
| 500 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 8 | 2017 | 589.987000 |
| 568 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 9 | 2017 | 319.984009 |
| 636 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 10 | 2017 | 11199.967773 |
| 703 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 11 | 2017 | 4119.978577 |
| 771 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 12 | 2017 | 1669.971954 |

Gambar 7. Data Testing Sub Kategori "Copiers"

Gambar 7 menunjukkan adanya perbedaan penjualan yang jauh pada bulan bulan tertentu yang mempengaruhi error pada model regresi. Setiap nilai error pada setiap sub kategori membutuhkan analisis lebih lanjut tiap sub kategori untuk menentukan pengaruh dari error tersebut untuk tiap sub kategori.

3.2. Pengujian Sistem Menggunakan Black Box Testing

Sistem akan diuji dengan menggunakan teknik pengujian Black Box Testing dimana metode pengujian ini bertujuan untuk memastikan setiap fitur ataupun proses telah berfungsi sesuai dengan kebutuhan dan ekspektasi yang diharapkan. Skenario pengujian akan dibagi menjadi beberapa bagian seperti melakukan login (LI), melakukan sign up (SU), melihat dashboard (DS), melakukan peramalan (FR), melihat product summary (PS), mengundang admin (IA), dan melakukan log out (LO). Hasil dari pengujian dari skenario pengujian diatas akan dijelaskan pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Black Box Testing

| Id Skenario | Pengujian | Hasil Yang Diinginkan | Hasil Yang Didapat | Keterangan |
|-------------|--|---|---|------------|
| LI01 | Login dengan username dan password yang benar | Berhasil masuk ke dalam sistem | Berhasil masuk ke dalam sistem | Sesuai |
| LI02 | Login dengan username dan password yang salah | Tidak dapat masuk ke sistem dan menampilkan error | Tidak dapat masuk ke sistem dan menampilkan error | Sesuai |
| SU01 | Melakukan pendaftaran akun dengan kode admin yang benar, username yang unik, dan data yang sesuai tanpa ada data yang kosong | Berhasil melakukan pendaftaran dan dialihkan ke halaman login | Berhasil melakukan pendaftaran dan dialihkan ke halaman login | Sesuai |
| SU02 | Melakukan pendaftaran namun dengan username yang pernah dipakai yaitu "admin" | Tidak berhasil melakukan pendaftaran dan muncul error | Tidak berhasil melakukan pendaftaran dan muncul error | Sesuai |
| SU03 | Melakukan pendaftaran namun dengan kode admin yang tidak tepat | Tidak berhasil melakukan pendaftaran dan muncul error | Tidak berhasil melakukan pendaftaran dan muncul error | Sesuai |
| SU04 | Menekan tombol "Register Now" dalam keadaan ada <i>field</i> yang kosong | Muncul pesan error | Muncul pesan error | Sesuai |
| DS01 | Mengakses halaman dashboard setelah melakukan login | Masuk ke halaman dashboard tanpa dibawa ke halaman login | Masuk ke halaman dashboard tanpa dibawa ke halaman login | Sesuai |
| DS02 | Mengakses halaman dashboard melalui URL tanpa melakukan login sebelumnya | Dibawa ke halaman login | Dibawa ke halaman login | Sesuai |

| | | | | |
|------|--|---|---|--------|
| FR01 | Mengakses halaman <i>forecasting</i> setelah melakukan login | Masuk ke halaman <i>forecasting</i> tanpa dibawa ke halaman login | Masuk ke halaman <i>forecasting</i> tanpa dibawa ke halaman login | Sesuai |
| FR02 | Mengakses halaman <i>forecasting</i> melalui URL tanpa melakukan login sebelumnya | Dibawa ke halaman login | Dibawa ke halaman login | Sesuai |
| FR03 | Memasukkan nilai nilai yang berbeda pada field | Menghasilkan angka penjualan yang berbeda | Menghasilkan angka penjualan yang berbeda | Sesuai |
| PS01 | Mengakses halaman <i>product summary</i> setelah melakukan login | Masuk ke halaman <i>product summary</i> tanpa dibawa ke halaman login | Masuk ke halaman <i>product summary</i> tanpa dibawa ke halaman login | Sesuai |
| PS02 | Mengakses halaman <i>product summary</i> melalui URL tanpa melakukan login sebelumnya | Dibawa ke halaman login | Dibawa ke halaman login | Sesuai |
| PS03 | Menekan halaman berbeda pada <i>pagination</i> | Menampilkan produk yang berbeda | Menampilkan produk yang berbeda | Sesuai |
| IA01 | Memasukkan email dan role | Muncul loading lalu muncul pesan "Done" | Muncul loading lalu muncul pesan "Done" | Sesuai |
| LO01 | Menekan tombol log out | Diarahkan ke halaman login | Diarahkan ke halaman login | Sesuai |
| LO02 | Mengakses halaman yang terproteksi seperti halaman dashboard setelah melakukan log out | Diarahkan ke halaman login | Diarahkan ke halaman login | Sesuai |

Tabel 4 menunjukkan hasil dari pengujian black box yang telah dilakukan. Terlihat bahwa semua skenario pengujian menunjukkan hasil "Sesuai" yang berarti dari pengujian yang dilakukan, peneliti mendapatkan hasil yang diharapkan pada semua skenario pengujian.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan dan juga hasil pengujian yang diperoleh dari penelitian, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- Model yang dioptimisasi menggunakan Particle Swarm Optimization memiliki nilai error yaitu sebesar 187,68 pada seluruh data training dan 254,32 pada seluruh data testing. Tingginya nilai error ini disebabkan karena adanya sub kategori dengan penjualan yang sangat tinggi yang memungkinkan nilai kesalahan yang lebih besar sehingga dibutuhkan penelitian yang lebih mendalam.
- Model yang dioptimisasi menggunakan Grid Search lebih unggul dibandingkan dengan model yang menggunakan PSO namun tidak secara signifikan dilihat dari nilai error PSO yang unggul pada beberapa sub kategori dibandingkan dengan Grid Search. Disamping itu, PSO unggul pada waktu pemrosesannya dibandingkan yang lainnya yaitu selama 40 menit 42 detik. Hal ini sangat membantu pengguna untuk melakukan tuning pada hyperparameter milik algoritma optimisasi sehingga memungkinkan pengguna untuk mendapat hasil optimisasi yang lebih baik. Hal ini dapat menjadi keunggulan PSO dibandingkan Grid Search yang membutuhkan waktu hingga 710 menit 31,5 detik.
- Melalui pengujian Black Box pada sistem yang dibuat, dapat disimpulkan bahwa fungsionalitas dari sistem yang dibangun dapat berjalan dengan baik. Pengujian yang dilakukan meliputi

pengujian yang menempatkan penguji sebagai user sehingga penguji dapat berinteraksi dengan frontend aplikasi dan melakukan skenario pengujian yang ditentukan.

References

- [1] S. Sagioglu and D. Sinanc, "Big data: A review," in *2013 International Conference on Collaboration Technologies and Systems (CTS)*, 2013, pp. 42–47. doi: 10.1109/CTS.2013.6567202.
- [2] Bridget Botelho and Stephen J. Bigelow, "big data." Accessed: Mar. 26, 2023. [Online]. Available: <https://www.techtarget.com/searchdatamanagement/definition/big-data>
- [3] N. Thabet and T. R. Soomro, "Big Data challenges," 2019, *Reed Business Information (Cahners)*. doi: 10.4172/2324-9307.1000133.
- [4] G. Tsoumakas, "A survey of machine learning techniques for food sales prediction," *Artif Intell Rev*, vol. 52, no. 1, pp. 441–447, Jun. 2019, doi: 10.1007/s10462-018-9637-z.
- [5] B. M. Pavlyshenko, "Machine-learning models for sales time series forecasting," *Data (Basel)*, vol. 4, no. 1, Mar. 2019, doi: 10.3390/data4010015.
- [6] Adrian Tam, "A Gentle Introduction to Particle Swarm Optimization." Accessed: Mar. 26, 2023. [Online]. Available: <https://machinelearningmastery.com/a-gentle-introduction-to-particle-swarm-optimization/>
- [7] Tableau, "Superstore Dataset." Accessed: Feb. 04, 2023. [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/datasets/vivek468/superstore-dataset-final>

Implementasi Algoritma Simulated Annealing (SA) dalam Steganografi Discrete Cosine Transform (DCT)

I Nyoman Dwi Pradnyana Putra^{a1}, I Gede Santi Astawa^{a2},
I Ketut Gede Suhartana^{a3}, Gusti Ayu Vida Matrika Giri^{a4}

^aProgram Studi Informatika, Universitas Udayana
Badung, Bali, Indonesia

¹dwipradnyana68@gmail.com

²santi.astawa@unud.ac.id

³ikg.suhartana@unud.ac.id

⁴vida@unud.ac.id

Abstract

Maintaining confidential data security is very important in an era of rapid technological developments. One method used for this purpose is steganography, which is a technique that allows the hiding of sensitive messages in other media without the knowledge of unauthorized parties. In this context, the Discrete Cosine Transform (DCT) method is used to insert messages into the essential frequency components of the media, such as images. However, the use of DCT can damage image quality, and this is why optimization is necessary. In this research, the Simulated Annealing (SA) algorithm is applied as optimization in DCT steganography. The goal is to find the optimal parameter configuration that can maintain the quality of the steganography image while storing the message efficiently. This research uses 6 RGB and grayscale images each and 3 messages with different capacities. Evaluation is carried out by measuring the Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) and Computational Cost values. This test obtained good results seen from the PSNR value with the highest value of 57,885 dB for RGB images and 58,402 dB for grayscale images, however testing the insertion process time had an influence on the SA algorithm which required quite a long computing time with 16 seconds for the insertion process. It is hoped that the results of this research will provide additional insight into the development of better and more effective information hiding techniques.

Keywords: *Steganography, Discrete Cosine Transform, Simulated Annealing, Digital Image, Peak Signal-to-Noise Ratio*

1. Pendahuluan

Teknologi yang terus berkembang saat ini memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap berbagai aspek kehidupan manusia, salah satunya yaitu menjaga keamanan data yang bersifat rahasia. Salah satu teknik yang digunakan untuk menyembunyikan informasi yaitu steganografi. Proses penyembunyian pesan rahasia menggunakan sistem steganografi dapat dilakukan dengan menggunakan media gambar, audio, maupun video [1]. Pada implementasinya, steganografi memiliki banyak metode untuk menyembunyikan pesan rahasia, salah satunya yaitu metode *Discrete Cosine Transform* (DCT), metode ini mengubah sebuah sinyal ke dalam komponen frekuensi dasar [2]. Namun, semakin banyak karakter yang disisipkan pada gambar akan semakin turun nilai PSNR yang didapatkan atau kualitas gambarnya semakin menurun, maka dari itu algoritma optimasi juga perlu diimplementasikan untuk mempertahankan kualitas citra stego yang dihasilkan, salah satu algoritma optimasi yang dapat digunakan yaitu algoritma *Simulated Annealing* (SA), algoritma ini digunakan untuk menyelesaikan masalah yang dimana memerlukan ruang yang sangat luas serta perubahan keadaan dari suatu kondisi ke kondisi yang lainnya [3].

Penelitian mengenai steganografi menggunakan metode *Discrete Cosine Transform* pernah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya seperti [4] melakukan steganografi dengan menyisipkan citra (informasi rahasia) ke dalam sebuah citra menggunakan metode DCT yang

menyimpulkan bahwa resolusi gambar akan mempengaruhi penyisipan, waktu pengiriman, dan waktu ekstraksi. Nilai rata-rata PSNR 43,778 dB dan MSE 2,733. Waktu pengiriman paling lama terjadi pada pengiriman citra 48x48 piksel sebesar 13,668 detik. Penelitian ini mengimplementasikan metode Discrete Cosine Transform (DCT) dengan tambahan algoritma *Simulated Annealing* (SA) untuk meningkatkan keamanan dan kualitas citra steganografi. Data password dienkripsi terlebih dahulu untuk menambah lapisan keamanan. Setelah penyisipan pesan tersembunyi menggunakan DCT, optimasi dilakukan dengan algoritma SA untuk mencari konfigurasi optimal dari parameter penyisipan, memastikan data sensitif tetap terlindungi dari pihak yang tidak berwenang.

2. Metodologi Penelitian

2.1. Data dan Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini yaitu data citra dan teks dengan metode pengumpulan data sekunder, data citra dengan format *.jpeg digunakan sebagai penampung pesan rahasia, sedangkan data teks dengan format *.txt digunakan sebagai pesan yang akan disisipkan ke dalam citra. Terdapat 6 citra digital digunakan yang memiliki ukuran dan jenis yang berbeda (RGB dan *grayscale*). Citra sebagai *cover-image* diambil dari situs web pinterest.com dengan kata kunci "*digital art*". File teks sebagai pesan yang digunakan memiliki jumlah karakter yang berbeda, dengan penambahan 100 karakter pada setiap file teks berikutnya. Data teks yang digunakan yaitu berupa nilai hash SHA-512 dari sebuah *master password* dari *password manager*. Daftar spesifikasi citra dan pesan dapat dilihat pada Tabel 1 sampai dengan Tabel 3.

Tabel 1. Data Citra RGB

| Nama File | Ukuran |
|-----------|--------|
| rgb1.jpeg | 74 KB |
| rgb2.jpeg | 126 KB |
| rgb3.jpeg | 151 KB |
| rgb4.jpeg | 210 KB |
| rgb5.jpeg | 373 KB |
| rgb6.jpeg | 452 KB |

Tabel 2. Data Citra *Grayscale*

| Nama File | Ukuran |
|------------|--------|
| gray1.jpeg | 62 KB |
| gray2.jpeg | 100 KB |
| gray3.jpeg | 129 KB |
| gray4.jpeg | 190 KB |
| gray5.jpeg | 332 KB |
| gray6.jpeg | 385 KB |

Tabel 3. Data Pesan Rahasia

| Nama File | Ukuran |
|--------------|-----------|
| message1.txt | 102 chars |
| message2.txt | 203 chars |
| message3.txt | 302 chars |

2.2. *Discrete Cosine Transform*

Discrete Cosine Transform merupakan salah satu metode steganografi pada citra digital yang menggunakan teknik transform domain, metode ini mentransformasikan sebuah informasi dari domain ruang atau waktu ke dalam domain frekuensi. Metode DCT adalah perubahan basis yang mengambil fungsi yang bernilai riil dan mengubahnya dalam bentuk basis ortonormal cosinus.

Metode DCT yang banyak digunakan dalam aplikasi adalah DCT 2D. Persamaan untuk transformasi DCT 2D (citra berukuran $m \times n$) ditunjukkan pada persamaan (1) dan (2)[5]:

$$T(u, v) = \alpha(u)\alpha(v) \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \cos \cos \frac{(2x+1)u\pi}{2N} \cos \cos \frac{(2y+1)v\pi}{2N} \quad (1)$$

dimana $\alpha(u) = \sqrt{\frac{1}{N}}$ untuk $u=0$

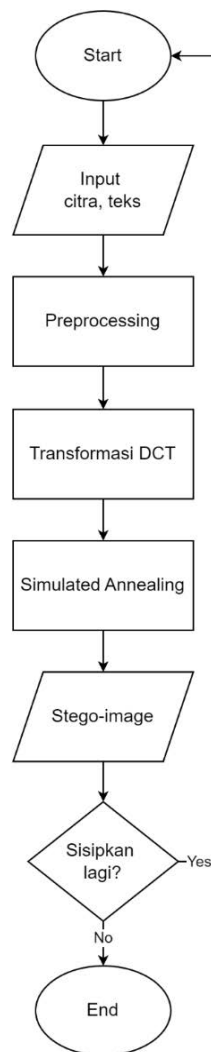
$$\alpha(u) = \sqrt{\frac{2}{N}}$$
 untuk $u = 1, 2, 3, \dots, n-1$

Untuk invers dari transformasi 2D DCT dapat dilihat pada persamaan di bawah ini:

$$f(u, v) = \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} \alpha(u)\alpha(v)T(x, y) \cos \cos \frac{(2x+1)u\pi}{2N} \cos \cos \frac{(2y+1)v\pi}{2N} \quad (2)$$

$$\alpha(u) = \sqrt{2/N}$$
 untuk $u = 1, 2, 3, \dots, n-1$

a. Proses Penyisipan

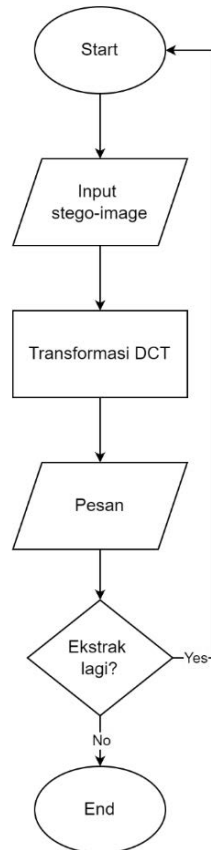


Gambar 1. Flowchart Penyisipan

Penyisipan merupakan salah satu fitur utama dari sistem ini, pertama sistem menerima input berupa masukan citra dan pesan yang ingin disisipkan, kemudian selanjutnya dilakukan *preprocessing* yang dimana proses tersebut dilakukan dengan mengkonversi gambar ke dalam domain DCT, kemudian proses transformasi dilakukan untuk pemilihan

blok gambar yang akan digunakan, pembentukan nilai koefisien untuk disisipkan pesan, kemudian algoritma *simulated annealing* untuk melakukan optimasi pemilihan koefisien yang cocok dan memiliki nilai koefisien secara minimal yang kemudian disisipkan pesan tersebut, proses invers matriks dilakukan untuk mengembalikan blok gambar menjadi *stego-image*. *Flowchart* penyisipan dapat dilihat pada Gambar 1.

b. Proses Ekstraksi



Gambar 2. *Flowchart* Ekstraksi

Ekstraksi merupakan salah satu fitur utama dari sistem ini, pertama sistem menerima input berupa masukan citra yang ingin diekstraksi, kemudian selanjutnya dilakukan *preprocessing* yang dimana proses tersebut dilakukan dengan mengkonversi gambar ke dalam domain DCT, kemudian proses transformasi dilakukan untuk pemilihan blok gambar yang akan, kemudian pesan tersebut diekstraksi dari *stego-image*, pesan-pesan tersebut akan disimpan menjadi file baru. *Flowchart* penyisipan dapat dilihat pada Gambar 2.

2.3. Simulated Annealing

Simulated Annealing adalah meta-algoritma probabilistik generik untuk masalah optimasi global. SA telah terbukti kuat dan mampu menangani data dunia nyata yang *noise* dan tidak lengkap. Dimulai dari titik yang dipilih secara acak dalam ruang pencarian. Algoritma dimulai dengan suhu tinggi yang kemudian dikurangi secara perlahan, biasanya secara bertahap. Pada setiap langkah, suhu harus dipertahankan konstan untuk periode waktu yang tepat (yaitu jumlah iterasi) agar algoritma dapat menetap dalam kesetimbangan termal, yaitu keadaan seimbang [6].

Dengan analogi dengan proses metalurgi, setiap langkah dari algoritma SA menggantikan solusi aktual dengan solusi yang dihasilkan secara acak dari lingkungan, dipilih dengan probabilitas tergantung pada perbedaan antara nilai fungsi yang sesuai dan pada parameter global, yang disebut suhu - T. Suhu menurun selama proses. Solusi saat ini berubah hampir secara acak ketika T besar, tetapi semakin menurun ketika T menjadi nol. Penyisihan untuk gerakan menanjak

menyelamatkan metode agar tidak macet di minimum lokal. *Simulated Annealing* adalah algoritma stokastik tergantung pada parameter yang dapat dilihat pada persamaan (3):

$$SA = M, x_0, N, f, T_0, T_f, \alpha, n_T \quad (3)$$



Gambar 3. Flowchart Algoritma *Simulated Annealing*

Simulated annealing merupakan algoritma yang digunakan untuk mengoptimasi penyisipan agar memiliki hasil *stego-image* yang lebih optimal, proses pertama yaitu mengatur suhu awal dan suhu akhir, kemudian melakukan iterasi hingga suhu mencapai suhu akhir dengan melakukan perulangan, jika suhu sudah mencapai akhir maka perubahan acak dilakukan pada koefisien DCT yang dipilih untuk menyembunyikan pesan, kemudian hitung fungsi tujuan untuk mengevaluasi kualitas pesan, pada evaluasi perubahan, jika perubahan meningkatkan kualitas pesan tersembunyi, maka perubahan diterima. Jika tidak, perubahan diterima dengan probabilitas tertentu yang dipengaruhi oleh suhu dan perbedaan nilai fungsi tujuan, langkah yang terakhir yaitu menurunkan suhu dengan faktor pendinginan. Flowchart algoritma *simulated annealing* dapat dilihat pada Gambar 3.

2.4. Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)

Penelitian ini menggunakan pengujian dengan parameter *Peak Square Noise Ratio* dan *Mean Square Error*, PSNR dapat didefinisikan sebagai perkiraan kualitas gambar secara statistik digunakan untuk mengukur distorsi antara cover dan *stego-image* dengan membandingkan

antara nilai maksimum dari sinyal yang diukur dengan besarnya noise dalam satuan desibel (dB). MSE merupakan adalah kesalahan kuadrat rata-rata sinyal-sinyal *pixel* citra hasil pemrosesan sinyal terhadap sinyal asli [7]. Persamaan yang digunakan untuk menentukan nilai berdasarkan PSNR dapat dilihat pada persamaan (4) dan (5):

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255}{MSE} \quad (4)$$

Dimana nilai MSE didapatkan dengan persamaan berikut:

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} (S(i, j) - C(i, j))^2 \quad (5)$$

Keterangan:

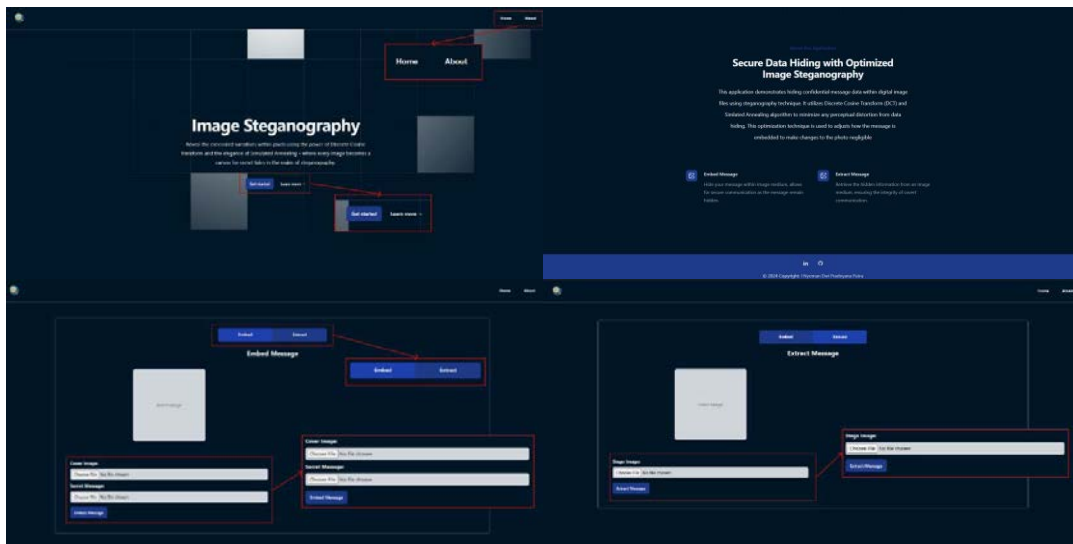
- m : Baris matriks citra hasil pemrosesan
- n : Kolom matrik citra hasil pemrosesan
- S : Pixel citra asli
- C : Pixel citra hasil pemrosesan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan citra setelah disisipkan sebuah pesan dilihat dari jangkauan PSNR berdasarkan pada persamaan (4). Sistem akan menyesuaikan panjang karakter maksimal yang disisipkan dilihat dari nilai PSNR pada gambar yang dipakai. Semakin besar nilai PSNR dan semakin kecil nilai MSE yang didapatkan, maka citra tersebut dapat dikatakan penyisipan dapat dilakukan dengan baik, kualitas citra terbaik berdasarkan nilai MSE ketika mendekati 0, kualitas citra dikatakan baik/sedang apabila memiliki nilai PSNR antara 30 hingga 40 dB, sangat baik > 40 dB, dan kurang baik apabila < 30 dB [8].

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Desain Sistem

Pada tahap ini, tampilan desain sistem yang dirancang sebelumnya berupa wireframe akan diimplementasikan menggunakan HTML, CSS, dan *Tailwind* CSS. Berikut beberapa tampilan halaman pada website steganografi yang telah diimplementasikan.



Gambar 4. Hasil Desain Sistem

Berdasarkan Gambar 4 terdapat 4 buah halaman yang diimplementasikan, halaman pertama yaitu halaman *Home* yang berisi sebuah *navigation bar* yang mengarah ke halaman *home* dan *about*, selain itu halaman ini menampilkan pengenalan aplikasi web serta terdapat tombol “Get Started” yang nantinya akan mengarah ke halaman penyisipan. Halaman kedua yaitu halaman *about* yang memuat informasi mengenai aplikasi web, fitur yang tersedia, serta *footer* yang memuat informasi pengembang aplikasi.

Halaman ketiga yaitu penyisipan, terdapat 2 menu yang berada di tengah halaman yang menunjukkan fitur yang ingin digunakan. Kemudian terdapat *form* untuk memasukan file citra dan pesan untuk dilakukan penyisipan, serta sistem akan menampilkan gambar yang dimasukan pada halaman web. Halaman terakhir yaitu halaman ekstraksi, tampilan ini tidak jauh berbeda dengan halaman penyisipan, perbedaannya terdapat pada form input file yang hanya satu untuk memasukan citra *stego-image*.

3.2. Pengujian PSNR

Pengujian PSNR digunakan untuk mengukur nilai perbedaan citra antara *cover-image* dengan *stego-image*, berikut penggalan kode Python yang digunakan pada pengujian hasil steganografi.

Tabel 4. Hasil Pengujian PSNR Steganografi DCT

| Citra | PSNR (dB) | | |
|------------|--------------|--------------|--------------|
| | message1.txt | message2.txt | message3.txt |
| rgb1.jpeg | 32.697 | 32.625 | 32.540 |
| rgb2.jpeg | 33.963 | 33.931 | 33.904 |
| rgb3.jpeg | 33.985 | 33.962 | 33.940 |
| rgb4.jpeg | 35.340 | 35.216 | 35.165 |
| rgb5.jpeg | 35.882 | 35.854 | 35.823 |
| rgb6.jpeg | 38.586 | 38.565 | 38.552 |
| gray1.jpeg | 33.781 | 33.675 | 33.615 |
| gray2.jpeg | 37.851 | 37.756 | 37.687 |
| gray3.jpeg | 35.180 | 35.156 | 35.128 |
| gray4.jpeg | 35.183 | 35.151 | 35.114 |
| gray5.jpeg | 37.074 | 37.031 | 36.997 |
| gray6.jpeg | 40.970 | 40.948 | 40.932 |

Berdasarkan Tabel 4 menunjukkan bahwa metode steganografi DCT cukup efektif dalam menyisipkan pesan, konsistensi nilai PSNR terhadap 3 pesan yang berbeda menunjukkan bahwa metode yang digunakan stabil dan tidak banyak merusak kualitas gambar. Nilai PSNR tertinggi pada rgb6.jpeg pada pesan 1, dan gray6.jpeg pada pesan 1, hal ini disebabkan oleh ukuran citra yang semakin besar akan memberikan hasil PSNR lebih tinggi tergantung seberapa banyak pesan yang disisipkan.

Tabel 5. Hasil Pengujian PSNR Steganografi DCT dan SA

| Citra | PSNR (dB) | | |
|------------|--------------|--------------|--------------|
| | message1.txt | message2.txt | message3.txt |
| rgb1.jpeg | 44.836 | 41.886 | 40.221 |
| rgb2.jpeg | 46.366 | 44.041 | 42.806 |
| rgb3.jpeg | 50.238 | 46.791 | 45.072 |
| rgb4.jpeg | 50.468 | 47.663 | 46.028 |
| rgb5.jpeg | 52.129 | 49.067 | 47.379 |
| rgb6.jpeg | 57.885 | 55.120 | 53.443 |
| gray1.jpeg | 45.392 | 42.695 | 41.059 |
| gray2.jpeg | 50.262 | 47.818 | 46.094 |
| gray3.jpeg | 51.041 | 47.886 | 46.019 |
| gray4.jpeg | 51.710 | 48.364 | 46.661 |
| gray5.jpeg | 54.026 | 50.866 | 49.330 |
| gray6.jpeg | 58.402 | 56.021 | 54.862 |

Berdasarkan Tabel 5 hasil PSNR setelah proses penyisipan menggunakan algoritma simulated annealing bahwa teknik steganografi ini dapat meminimalkan noise pada stego-image yang dimana hasil PSNR menunjukan di atas 40 dB dengan nilai tertinggi 57.885 dB untuk rgb6.jpeg terhadap message1.txt dan 58.402 dB untuk gray6.jpeg terhadap message1.txt, citra yang akan disisipkan pesan sangat berpengaruh terhadap jumlah karakter atau ukuran bit pada pesan, dimana semakin besar pesan, maka nilai PSNR semakin sedikit.

Secara umum, citra *grayscale* cenderung memiliki PSNR yang lebih tinggi dibandingkan dengan citra berwarna untuk pesan yang sama. Misalnya, gray6.jpeg memiliki PSNR 58.402 dB, lebih tinggi daripada rgb6.jpeg yang memiliki PSNR 57.885 dB untuk message1.txt. Hal ini disebabkan karena citra *grayscale* lebih sederhana dan memiliki informasi yang lebih sedikit dibandingkan dengan citra berwarna sehingga lebih sedikit gangguan yang terjadi ketika pesan disisipkan.

3.3. Pengujian Waktu Proses

Pengujian waktu proses pada sistem ini digunakan untuk mengukur seberapa cepat metode steganografi dapat melakukan proses penyisipan dan ekstraksi, berikut merupakan potongan kode Python yang digunakan pada pengujian ini.

Tabel 6. Hasil Waktu Proses Penyisipan Steganografi DCT

| Citra | Waktu Proses (s) | | |
|------------|------------------|--------------|--------------|
| | message1.txt | message2.txt | message3.txt |
| rgb1.jpeg | 0.410 | 0.421 | 0.438 |
| rgb2.jpeg | 1.124 | 1.187 | 1.205 |
| rgb3.jpeg | 1.547 | 1.602 | 1.629 |
| rgb4.jpeg | 2.891 | 2.935 | 2.978 |
| rgb5.jpeg | 3.102 | 3.284 | 3.391 |
| rgb6.jpeg | 4.521 | 4.724 | 4.809 |
| gray1.jpeg | 0.407 | 0.416 | 0.462 |
| gray2.jpeg | 0.934 | 0.952 | 0.963 |
| gray3.jpeg | 1.518 | 1.641 | 1.677 |
| gray4.jpeg | 2.837 | 2.910 | 2.989 |
| gray5.jpeg | 3.059 | 3.245 | 3.412 |
| gray6.jpeg | 4.211 | 4.349 | 4.612 |

Berdasarkan Tabel 6 menunjukan adanya sedikit konsistensi antara waktu proses message1.txt, message2.txt, dan message3.txt menunjukkan bahwa metode steganografi DCT memiliki efisiensi yang serupa terlepas dari pesan yang disisipkan. Hasil waktu proses penyisipan yang dimana proses penyisipan paling lama hingga 4.8 detik yaitu pada citra dengan ukuran terbesar, dan penyisipan paling cepat pada citra dengan ukuran terkecil dengan lama 0.4 detik.

Tabel 7. Hasil Waktu Proses Ekstraksi Steganografi DCT

| Citra | Waktu Proses (s) | | |
|------------|------------------|--------------|--------------|
| | message1.txt | message2.txt | message3.txt |
| rgb1.jpeg | 0.002 | 0.003 | 0.005 |
| rgb2.jpeg | 0.009 | 0.011 | 0.016 |
| rgb3.jpeg | 0.014 | 0.021 | 0.024 |
| rgb4.jpeg | 0.019 | 0.025 | 0.034 |
| rgb5.jpeg | 0.036 | 0.048 | 0.052 |
| rgb6.jpeg | 0.070 | 0.089 | 0.100 |
| gray1.jpeg | 0.001 | 0.002 | 0.004 |
| gray2.jpeg | 0.004 | 0.012 | 0.015 |
| gray3.jpeg | 0.009 | 0.018 | 0.025 |

| | | | |
|------------|-------|-------|-------|
| gray4.jpeg | 0.016 | 0.020 | 0.027 |
| gray5.jpeg | 0.029 | 0.033 | 0.040 |
| gray6.jpeg | 0.066 | 0.087 | 0.096 |

Tabel 7 menunjukkan waktu proses ekstraksi pesan pada setiap citra hanya menggunakan metode DCT. Waktu proses ekstraksi untuk citra RGB dan *grayscale* memiliki perbedaan yang tidak begitu jauh. Waktu proses ekstraksi ini tergantung pada ukuran dan kompleksitas citra, dengan citra yang lebih kompleks atau berukuran lebih besar cenderung membutuhkan waktu lebih lama. Secara keseluruhan, waktu proses ekstraksi berlangsung sekitar dari 0.001 detik hingga 0.100 detik.

Tabel 8. Hasil Waktu Proses Penyisipan Steganografi DCT dan SA

| Citra | Waktu Proses (s) | | |
|------------|------------------|--------------|--------------|
| | message1.txt | message2.txt | message3.txt |
| rgb1.jpeg | 0.476 | 0.486 | 0.530 |
| rgb2.jpeg | 1.266 | 1.314 | 1.348 |
| rgb3.jpeg | 1.641 | 1.697 | 1.806 |
| rgb4.jpeg | 3.142 | 3.186 | 3.369 |
| rgb5.jpeg | 7.608 | 8.085 | 8.594 |
| rgb6.jpeg | 15.481 | 15.723 | 16.111 |
| gray1.jpeg | 0.401 | 0.612 | 0.890 |
| gray2.jpeg | 0.863 | 0.935 | 0.987 |
| gray3.jpeg | 1.575 | 1.602 | 1.684 |
| gray4.jpeg | 2.911 | 2.970 | 3.213 |
| gray5.jpeg | 7.587 | 7.743 | 8.180 |
| gray6.jpeg | 13.399 | 13.485 | 13.733 |

Tabel 8 menunjukkan hasil waktu proses penyisipan pada setiap citra dan pesan. Citra RGB memerlukan waktu lebih lama daripada *grayscale* untuk proses penyisipannya. Waktu proses penyisipan cenderung meningkat seiring dengan ukuran dan kompleksitas citra. Citra dengan waktu yang lebih besar seperti rgb6.jpeg dan gray6.jpeg memiliki waktu proses yang paling lama, menunjukkan bahwa citra tersebut lebih kompleks atau berukuran lebih besar.

Faktor lain yaitu karena adanya tambahan algoritma SA yang melibatkan analisis dan modifikasi pixel yang lebih kompleks. Proses identifikasi area-area ini memerlukan waktu pemrosesan tambahan yang mengakibatkan lamanya waktu proses penyisipan.

Tabel 9. Hasil Waktu Proses Ekstraksi Steganografi DCT dan SA

| Citra | Waktu Proses (s) | | |
|------------|------------------|--------------|--------------|
| | message1.txt | message2.txt | message3.txt |
| rgb1.jpeg | 0.002 | 0.004 | 0.006 |
| rgb2.jpeg | 0.010 | 0.014 | 0.018 |
| rgb3.jpeg | 0.018 | 0.023 | 0.027 |
| rgb4.jpeg | 0.020 | 0.029 | 0.035 |
| rgb5.jpeg | 0.031 | 0.036 | 0.043 |
| rgb6.jpeg | 0.072 | 0.095 | 0.102 |
| gray1.jpeg | 0.001 | 0.004 | 0.005 |
| gray2.jpeg | 0.006 | 0.014 | 0.017 |
| gray3.jpeg | 0.010 | 0.021 | 0.027 |
| gray4.jpeg | 0.017 | 0.023 | 0.029 |
| gray5.jpeg | 0.038 | 0.052 | 0.054 |

| | | | |
|------------|-------|-------|-------|
| gray6.jpeg | 0.070 | 0.090 | 0.100 |
|------------|-------|-------|-------|

Pada Tabel 9 menunjukkan waktu proses ekstraksi pesan pada setiap citra. Waktu proses ekstraksi untuk citra RGB dan *grayscale* bervariasi, tetapi tidak menunjukkan perbedaan pola yang signifikan. Waktu proses ekstraksi ini tergantung pada ukuran dan kompleksitas citra, dengan citra yang lebih kompleks atau berukuran lebih besar cenderung membutuhkan waktu lebih lama. Secara keseluruhan, waktu proses ekstraksi sekitar dari 0.001 detik hingga 0.102 detik, menunjukkan bahwa proses ekstraksi cukup cepat untuk semua citra dan pesan yang diuji. Grafik untuk pengujian waktu proses ekstraksi dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

3.4. Pengujian *Black-box*

Pengujian *black-box* dilakukan untuk menguji fungsi yang terdapat pada aplikasi yang telah dibangun. Pengujian ini dilakukan dengan cara melakukan demonstrasi menggunakan aplikasi sebagai user untuk mengetahui apakah fungsi yang terdapat pada aplikasi dapat berjalan dengan baik sesuai dengan skenario.

Tabel 10. Hasil Pengujian *Black-box* Proses Penyisipan

| Nama Pengujian | Pengujian Proses Penyisipan | | |
|--|--|--|------------|
| Tujuan | Menguji Fungsi Proses Penyisipan | | |
| Skenario | <ol style="list-style-type: none"> 1. Pengguna memilih menu penyisipan 2. Pengguna memasukan citra sebagai <i>cover-image</i> 3. Pengguna memasukan file teks sebagai pesan 4. Pengguna menekan tombol <i>Embed</i> 5. Pengguna men-download <i>stego-image</i> | | |
| Hasil Pengujian | | | |
| Masukan Pengguna | Keluaran yang diharapkan | Pengamatan | Kesimpulan |
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Citra digital 2. File teks | <ol style="list-style-type: none"> 1. Dapat menampilkan citra yang diinput 2. Dapat menghasilkan <i>stego-image</i> 3. Dapat men-download <i>stego-image</i> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Menampilkan citra yang diinput 2. Menghasilkan <i>stego-image</i> 3. <i>Stego-image</i> dapat di-download | Sesuai |

Pada tabel 10 dapat dilihat hasil yang diharapkan atau skenario oleh sistem sudah sesuai dengan hasil pengamatan yang dilakukan terhadap sistem dengan melakukan demonstrasi. Hal ini menunjukkan bahwa proses penyisipan telah berjalan sesuai skenario dan mendapatkan hasil yang diharapkan.

Tabel 11. Hasil Pengujian *Black-box* Proses Ekstraksi

| Nama Pengujian | Pengujian Proses Ekstraksi | | |
|------------------|---|------------|------------|
| Tujuan | Menguji Fungsi Proses Ekstraksi | | |
| Skenario | <ol style="list-style-type: none"> 1. Pengguna memilih menu ekstraksi 2. Pengguna memasukan citra sebagai <i>stego-image</i> 3. Pengguna menekan tombol <i>Extract</i> 4. Pengguna men-download teks yang telah diekstraksi | | |
| Hasil Pengujian | | | |
| Masukan Pengguna | Keluaran yang diharapkan | Pengamatan | Kesimpulan |

| | | | |
|------------------|--|--|--------|
| 1. Citra digital | 1. Dapat menampilkan citra yang diinput | 1. Menampilkan citra yang diinput | Sesuai |
| | 2. Dapat menampilkan pesan yang diekstraksi | 2. Menampilkan pesan yang diekstraksi | |
| | 3. Dapat men-download pesan yang diekstraksi | 3. Teks yang telah diekstraksi dapat di-download | |

Pada tabel 11 dapat dilihat hasil yang diharapkan atau skenario oleh sistem sudah sesuai dengan hasil pengamatan yang dilakukan terhadap sistem dengan melakukan demonstrasi. Hal ini menunjukkan bahwa proses ekstraksi telah berjalan sesuai skenario dan mendapatkan hasil yang diharapkan.

4. Simpulan

Berdasarkan dari penelitian yang telah dilakukan pada implementasi algoritma *simulated annealing* dalam steganografi *discrete cosine transform* dapat disimpulkan bahwa:

- Penerapan algoritma *simulated annealing* dalam steganografi metode *discrete cosine transform* (DCT) menunjukkan peningkatan yang signifikan pada nilai *peak signal-to-noise ratio* (PSNR) dibandingkan hanya menggunakan metode DCT. Berdasarkan pengujian, rata-rata nilai PSNR yang dihasilkan yaitu 48 dB dengan nilai tertinggi 57 dB pada citra RGB dan 58 dB pada citra *grayscale* serta nilai terendah 40 dB pada citra RGB dan 41 dB citra *grayscale*. Hal ini menunjukkan bahwa algoritma *simulated annealing* efektif dalam meminimalkan distorsi visual atau noise yang diakibatkan oleh proses penyisipan pesan pada gambar sehingga kualitas *stego-image* lebih tinggi dibandingkan dengan metode tanpa optimasi.
- Penggunaan algoritma *simulated annealing* dalam steganografi DCT memberikan dampak pada meningkatnya *computational cost* terkhusus pada waktu proses penyisipan. Berdasarkan pengujian, waktu proses yang dihasilkan pada proses penyisipan dengan waktu terlama yaitu 15 detik pada citra RGB dan 13 detik pada citra *grayscale* serta waktu tercepat 0.41 detik pada citra RGB dan 0.40 detik pada citra *grayscale*. Proses yang dilakukan oleh algoritma ini membutuhkan waktu dan sumber daya komputasi yang lebih besar. Namun, penggunaan algoritma ini sebanding dengan peningkatan kualitas gambar yang dihasilkan.

Referensi

- [1] S. Nur'aini, "Steganografi Pada Digital Image Menggunakan Metode Least Significant Bit Insertion," *Walisongo Journal of Information Technology*, vol. 1, no. 1, p. 73, 2019
- [2] T Yuniati, "IMPLEMENTASI AUDIO STEGANOGRAFI MENGGUNAKAN ALGORITMA DISCRETE COSINE TRANSFORM Tugas Akhir," *ejurnal.teknokrat.ac.id*, vol. 17, no. 1, 2023.
- [3] R. Hidayati, I. Guntoro, and S. Junianti, "PENGUNAAN METODE SIMULATED ANNEALING UNTUK PENYELESAIAN TRAVELLING SALESMAN PROBLEM," 2019.
- [4] M. Hamdani, D. Gloria, and N. Samosir, "IMPLEMENTASI STEGANOGRAFI UNTUK KEAMANAN PENGIRIMAN CITRA DIGITAL MENGGUNAKAN METODA DCT (DISCRETE COSINE TRANSFORM)," 2018.
- [5] U. Ramadass, "FPGA Implementation of 2-D DCT for JPEG Image Compression," 2011, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/228615235>

- [6] G. R. Karimi and A. A. Verki, *Simulated Annealing - Single and Multiple Objective Problems*. Rijeka, Croatia: InTech, 2012.
- [7] M. A. H. M. H. A. M. Hassaballah, *Digital Media Steganography Principles, Algorithms, and Advances*. Elsevier Science, 2020.
- [8] N. Sari and R. Rosnelly, "Sistem Perbaikan Citra Berkas Pelanggan Kredit Sepeda Motor Menggunakan Metode Gaussian Filter Dan Metode High-Pass Filter Motorcycle Credit Customer File Image Improvement System Using Gaussian Filter Method and High-Pass Filter Method," *Januari*, no. 2, p. 143, 2024.

Pengaruh Metode MFCC Dan KNN Pada Music Information Retrieval Terhadap Klasifikasi Genre Musik

Ida Bagus Made Surya Widnyana^{a1}, Ngurah Agus Sanjaya ER^{a2}, I Putu Gede Hendra Suputra^{b3},
Luh Arida Ayu Rahning Putri^{b4}

^aProgram Studi Informatika, Universitas Udayana
Kuta Selatan, badung, Bali, Indonesia
¹Odesuryawidnyana@email.com
²agus_sanjaya@unud.ac.id.com

^b Program Studi Informatika, Universitas Udayana
Kuta Selatan, badung, Bali, Indonesia
³hendra.suputra@unud.ac.id
⁴rahningputri@unud.ac.id

Abstract

Music is an important art in daily life, but the abundance of choices makes song selection difficult. Music Information Retrieval (MIR) extracts information from music data, including genre classification. Mel-Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) extract music features, and the K-Nearest Neighbor (KNN) algorithm classifies based on the distance of the training data. This study evaluates the accuracy of music genre classification using Mel Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) and K-Nearest Neighbor (KNN) on five popular genres in Indonesia, namely pop, rock, dangdut, hip-hop, and jazz. The training data consists of 500 samples (100 per genre) with audio segments from the beginning, middle, and end with varying durations of 10 seconds, 20 seconds, and 30 seconds. The results show that the audio segment in the middle with a duration of 20 seconds, using the KNN classification method, has the highest accuracy with a value of $k=7$, achieving an accuracy of 68.67%. The middle audio segment is more representative and informative for genre classification. Therefore, it is recommended to use the 20-second middle segment with $k=7$ for more accurate classification using MFCC and KNN.

Keywords: *Music, K-Nearest Neighbor (KNN), Classification, Music Genre, Music Information Retrieval (MIR).*

Abstrak

Musik adalah seni yang penting dalam kehidupan sehari-hari, namun banyaknya pilihan membuat pemilihan lagu menjadi sulit. Music Information Retrieval (MIR) mengambil informasi dari data musik, termasuk klasifikasi genre. Mel-Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) mengekstraksi fitur musik, dan algoritma K-Nearest Neighbor (KNN) mengklasifikasikan berdasarkan jarak data latih. Penelitian ini mengevaluasi akurasi klasifikasi genre musik menggunakan *Mel Frequency Cepstral Coefficients* (MFCC) dan *K-Nearest Neighbor* (KNN) pada lima genre populer di Indonesia, yaitu pop, rock, dangdut, hip-hop, dan jazz. Data latih terdiri dari 500 sampel (100 per genre) dengan potongan audio dari awal, tengah, dan akhir dengan variasi durasi 10 detik, 20 detik, dan 30 detik. Hasil menunjukkan titik potongan audio pada bagian tengah dengan durasi 20 detik, menggunakan metode klasifikasi KNN memiliki akurasi tertinggi dengan nilai $k=7$ memberikan akurasi terbaik sebesar 68.67%. Bagian tengah audio lebih representatif dan informatif untuk klasifikasi genre. Oleh karena itu, disarankan untuk menggunakan potongan tengah 20 detik dengan $k=7$ untuk klasifikasi yang lebih akurat menggunakan MFCC dan KNN.

Kata kunci: *Musik, K-Nearest Neighbor (KNN), Klasifikasi, Genre Musik, Music Information Retrieval (MIR).*

1. Pendahuluan

Musik adalah bagian penting dari kehidupan manusia dan dapat diakses dengan mudah melalui platform streaming. Namun, banyak pilihan lagu membuat pendengar kesulitan memilih lagu yang ingin didengarkan. Genre musik adalah kategori yang dibedakan berdasarkan ritme, harmoni, melodi, dan frekuensi, memudahkan masyarakat mengelompokkan dan mengidentifikasi musik yang mereka sukai. Genre musik sangat penting bagi anak muda millennial yang menjadi konsumen utama industri musik. Mereka tumbuh di era digital dan terpengaruh oleh berbagai jenis musik dari seluruh dunia. Klasifikasi genre membantu mereka menemukan musik sesuai selera mereka[4].

Music Information Retrieval (MIR) adalah bidang penelitian ilmu komputer yang mengembangkan teknik untuk mengekstraksi informasi dari data musik. Salah satu aplikasi MIR adalah klasifikasi genre musik berdasarkan karakteristik musik. Metode *Mel-Frequency Cepstral Coefficients* (MFCC) digunakan untuk mengekstraksi fitur dari data musik dengan mengubah sinyal suara ke domain frekuensi dan menghitung koefisien cepstral. MFCC berguna dalam analisis musik karena merepresentasikan ciri-ciri utama sinyal suara seperti tempo, harmoni, dan ritme[5].

Penelitian ini menggunakan algoritma *K-Nearest Neighbor* (KNN) merupakan klasifikasi dalam *machine learning* yang berdasarkan pada jarak antara data[7]. Dalam KNN menghitung jarak antara data uji dengan semua data audio musik dalam kumpulan data latih menggunakan *Euclidean distance* antara data yang dievaluasi dengan K sebagai penentu tetangga terdekat dalam data pelatihan[3]. Penggunaan metode MFCC dan algoritma KNN dalam klasifikasi genre musik di MIR menghadapi tantangan seperti variasi penampilan musik, kebisingan, dan perbedaan kualitas rekaman. Penelitian ini mengukur akurasi metode MFCC dan algoritma KNN dalam klasifikasi genre musik di MIR. Fokusnya adalah menguji akurasi menggunakan potongan audio dari awal, tengah, dan akhir dengan durasi 30 detik, 20 detik, dan 10 detik. Hasil penelitian ini diharapkan berkontribusi pada pengembangan MIR dan industri musik.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode *Mel Frequency Cepstral Coefficients* (MFCC) untuk mengambil ciri-ciri penting dari sinyal audio dan *K-Nearest Neighbor* (K-NN) untuk mengklasifikasikan genre musik. Metode MFCC mengekstrak fitur-fitur yang merepresentasikan karakteristik spektrum frekuensi sesuai dengan persepsi pendengaran manusia. Proses ekstraksi MFCC melibatkan beberapa tahapan, termasuk *pre-emphasis*, *frame blocking*, *windowing*, *FFT*, *Mel Frequency Wrapping*, dan akhirnya konversi ke domain waktu melalui cepstrum untuk mendapatkan koefisien MFCC [1]. Metode *K-Nearest Neighbor* (KNN) kemudian digunakan untuk mengklasifikasikan genre musik berdasarkan fitur yang diekstraksi menggunakan MFCC. Fitur MFCC dari data uji dibandingkan dengan fitur MFCC dari data latih menggunakan algoritma *K-Nearest Neighbor* (KNN). Jarak antara fitur data uji dan fitur data latih dihitung, dan data uji diklasifikasikan ke dalam genre musik yang memiliki jumlah tetangga terdekat (*nearest neighbors*) terbanyak dalam data latih[7].

2.1. Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan 500 file musik dengan 5 genre yaitu pop, rock, dangdut, hip-hop, dan jazz, masing-masing dengan 100 file. Sumber data untuk genre rock, jazz, dan hip-hop diperoleh dari website Jamendo, sementara genre pop dan dangdut didownload dari YouTube dalam format .mp3 lalu dikonversi menjadi .wav menggunakan aplikasi dBpoweramp.

1. Pelabelan data

Pada tahap pelabelan, file-file musik yang di download pada website jamendo telah diberi label sesuai dengan genre yaitu rock, jazz, dan pop dan file-file musik yang di download pada Youtube dengan genre pop dan dangdut telah diberi label oleh saudari Ida Ayu Made Galih Wulandari yang bekerja di stasiun radio untuk memastikan validitas dalam proses klasifikasi.

2. Evaluasi Holdout

Evaluasi holdout dilakukan dengan membagi data menjadi dua bagian yaitu bagian untuk pelatihan dan bagian untuk pengujian [6]. Data latih terdiri dari 350 file sebagai data latih, sedangkan 150 file lainnya sebagai data uji yang dicocokkan dengan data latih.

3. Pemotongan Lagu

Seluruh file musik, baik yang digunakan sebagai data latih maupun data uji menggunakan audio dengan tiga titik potong yang berbeda yaitu.

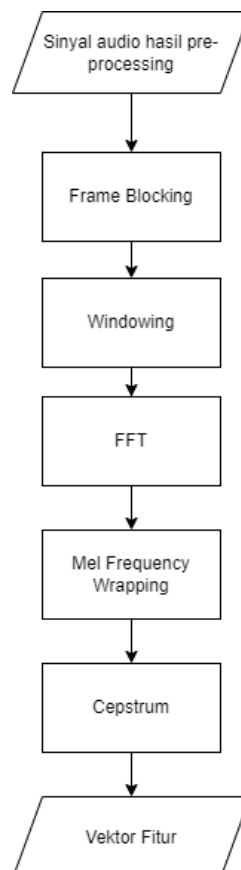
- Pemotongan di awal merupakan bagian pertama dari setiap file musik, yang mencakup awal dari audio.
- Pemotongan di tengah merupakan bagian tengah dari setiap file musik, yang mencakup bagian tengah dari audio.
- Pemotongan di akhir merupakan Bagian terakhir dari setiap file musik, yang mencakup akhir dari audio.

Setiap bagian audio memiliki durasi yang berbeda yaitu 30 detik, 20 detik, dan 10 detik. Pemilihan berbagai durasi ini bertujuan untuk mencakup variasi yang mungkin terjadi dalam data uji, sehingga data latih dapat merepresentasikan berbagai jenis musik secara lebih komprehensif. Variasi durasi dan jenis musik dalam data latih merupakan aspek penting dalam penelitian *Music Information Retrieval* (MIR) ini, yang bertujuan untuk menghasilkan klasifikasi genre musik yang akurat dan dapat diandalkan.

2.2. Pre-processing

Penelitian ini mempersiapkan audio musik dengan format .wav dari berbagai sumber dan genre. Tahapan pertama adalah normalisasi menggunakan *Min-Max Scaler*. Proses ini melibatkan pembagian setiap sampel data dengan nilai tertinggi, sehingga semua data berada dalam rentang yang sama (0-1). Nilai minimum dan maksimum amplitudo audio dihitung, dan kemudian setiap sampel audio dinormalisasi untuk mempersiapkan data untuk proses lanjutan seperti ekstraksi fitur dan klasifikasi genre musik.

2.3. Mel-Frequency Cepstral Coefficients (MFCC)



Gambar 1. Diagram ekstraksi fitur

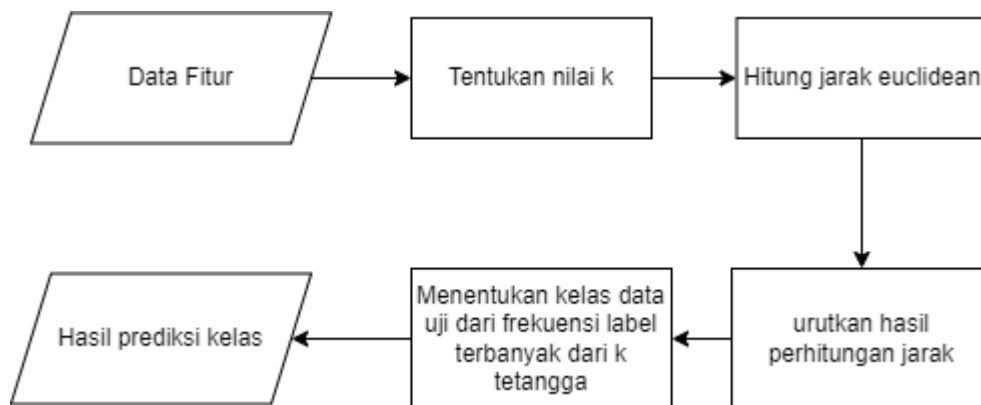
Tahap *Mel-Frequency Cepstral Coefficients (MFCC)* yang dapat dilihat pada gambar 1, proses awal dalam ekstraksi fitur dengan metode *Mel-Frequency Cepstral Coefficients (MFCC)* adalah pre-emphasis, yang bertujuan untuk menstabilkan nilai magnitude pada sinyal suara. Dengan demikian, efek peningkatan frekuensi yang tidak diinginkan dapat diurangi, sehingga kualitas sinyal menjadi lebih baik[2]. Tahapan berikutnya adalah frame blocking, yang membagi sinyal audio musik ke dalam frame-frame dengan waktu tertentu. Dengan demikian, kompleksitas analisis dapat diurangi dan efek diskontinuitas di awal dan akhir setiap frame dapat diatasi[1]. Selanjutnya, windowing dilakukan untuk

mengurangi efek diskontinuitas di awal dan akhir setiap frame serta mengurangi kebocoran spectral. Dengan menggunakan window hamming, efek diskontinuitas dan kebocoran spectral dapat diatasi, sehingga sinyal menjadi lebih stabil[7].

Kemudian FFT dilakukan untuk mengubah frame dari domain waktu ke domain frekuensi. Dengan demikian, spektrum frekuensi dapat dihasilkan dan digunakan untuk analisis sinyal selanjutnya, dihitung power spectrum (peridogram) pada setiap frame[1]. Mel Frequency Wrapping adalah proses penting dalam ekstraksi fitur suara yang menggabungkan Mel-Filter Bank dan perubahan skala frekuensi menjadi mel scale, sesuai dengan persepsi pendengaran manusia. Proses ini mengubah skala frekuensi menjadi mel scale, dimana perbedaan frekuensi kecil pada frekuensi rendah dianggap lebih penting. Mel-Filter Bank terdiri dari filter-filter yang lebih sensitif terhadap frekuensi rendah dibandingkan dengan frekuensi tinggi, meniru cara kerja telinga manusia. Dengan demikian, spektrum frekuensi yang dihasilkan oleh FFT diproses menggunakan filter bank yang berfokus pada frekuensi penting bagi telinga manusia. Dengan Mel Frequency Wrapping, fitur suara yang dihasilkan lebih akurat dan sesuai dengan cara kerja telinga manusia, sehingga meningkatkan performa pengenalan suara[7]. Cepstrum dilakukan untuk mengkonversi nilai-nilai mel yang telah diperoleh kembali ke dalam domain waktu. Dengan demikian, efek kebocoran waktu dapat diurangi dan koefisien cepstrum menjadi lebih stabil.

Mel-Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) dilakukan untuk menghasilkan ekstraksi berupa matriks dua dimensi dengan ukuran $tframe \times jkoef$, dengan baris berupa frame dan kolom berupa koefisien. Tframe adalah jumlah frame yang terbentuk dan jkoef adalah jumlah koefisien MFCC yang diinginkan. Pada penelitian ini menggunakan koefisien MFCC berjumlah 20[8]. Setiap elemen dalam matriks merepresentasikan nilai koefisien MFCC pada setiap frame audio. Matriks ini kemudian dirata-ratakan untuk menghasilkan satu vektor yang mewakili keseluruhan audio. Vektor fitur MFCC ini digunakan sebagai masukan untuk tahap klasifikasi[7].

2.4. K-Nearest Neighbor (KNN)



Gambar 2. Diagram Klasifikasi dengan KNN

Tahap klasifikasi yang dapat dilihat pada gambar 2, data fitur yang dihasilkan dari ekstraksi fitur dalam bentuk matriks dua dimensi dengan ukuran $tframe \times jkoef$, dengan baris berupa frame dan kolom berupa koefisien. Tframe adalah jumlah frame yang terbentuk dan jkoef adalah jumlah koefisien MFCC yang diinginkan. Pada penelitian ini menggunakan koefisien MFCC berjumlah 20[8]. Matriks ini kemudian dirata-ratakan untuk menghasilkan satu vektor yang mewakili keseluruhan audio. Vektor fitur ini digunakan sebagai referensi data pembelajaran untuk melakukan klasifikasi menggunakan algoritma *K-Nearest Neighbor*. Proses klasifikasi dimulai dengan menentukan nilai k sebagai jumlah tetangga terdekat untuk setiap jenis suara, kemudian menghitung jarak antara data uji dengan semua data audio musik dalam kumpulan data latih menggunakan *Euclidean distance*[7]. Data diurutkan berdasarkan jarak terkecil sebanyak nilai k yang telah ditentukan, dan kelas ditentukan berdasarkan frekuensi terbanyak dari data latih sebanyak nilai k yang telah ditentukan. Hasil klasifikasi diberikan dalam bentuk prediksi genre musik. Dari hasil prediksi tersebut digunakan untuk menentukan akurasi dari hasil klasifikasi, sehingga dapat diukur tingkat keakuratan dari algoritma yang digunakan[3].

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini menggunakan normalisasi, ekstraksi fitur dengan MFCC, dan klasifikasi dengan KNN pada dataset 500 file audio WAV dengan 5 genre musik, masing-masing 100 file audio. Data dibagi menjadi 350 untuk latih dan 150 untuk uji. Pengujian dilakukan dengan akurasi menggunakan tiga potongan audio lagu dengan durasi berbeda (30 detik, 20 detik, dan 10 detik).

3.1. Pengujian terhadap potongan audio dari awal, tengah, dan akhir dengan durasi yang bervariasi

Pengujian dilakukan dengan menerapkan metode *K-Nearest Neighbor* (KNN) dan ekstraksi fitur *Mel Frequency Cepstral Coefficients* (MFCC) pada potongan audio dari awal, tengah, dan akhir dengan variasi durasi 10 detik, 20 detik, dan 30 detik. Setiap file audio musik dibagi menjadi tiga bagian, yaitu bagian awal, tengah, dan akhir. Kemudian, model KNN dilatih menggunakan data latih dan diuji menggunakan data uji dengan nilai k yang ganjil, dimulai dari k = 3 hingga k = 15. Langkah ini bertujuan untuk mengetahui akurasi klasifikasi berdasarkan berbagai nilai k pada masing-masing durasi audio dan potongan audio yang berbeda. Hasil pengujian menunjukkan bagaimana variasi durasi dan posisi potongan audio mempengaruhi akurasi pada klasifikasi genre musik. Berikut hasil klasifikasi dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Akurasi terhadap potong audiodan durasi yang berbeda dengan metode KNN

| Nilai K | Akurasi KNN | | | | | | | | |
|------------|-------------------|-------------|-------------|---------------------|-------------|-------------|--------------------|-------------|-------------|
| | Bagian Awal Audio | | | Bagian Tengah Audio | | | Bagian Akhir audio | | |
| | Durasi | | | Durasi | | | Durasi | | |
| | 10 detik | 20 detik | 30 detik | 10 detik | 20 detik | 30 detik | 10 detik | 20 detik | 30 detik |
| 3 | 53.33% | 49.33% | 56.67% | 58.67% | 64.67% | 61.33% | 46.00% | 52.00% | 53.33% |
| 5 | 52.00% | 53.33% | 56.00% | 62.00% | 68.00% | 63.33% | 48.00% | 56.00% | 60.00% |
| 7 | 51.33% | 52.67% | 57.33% | 62.00% | 68.67% | 61.33% | 46.67% | 54.00% | 60.67% |
| 9 | 54.00% | 48.00% | 56.67% | 62.00% | 66.00% | 58.67% | 50.00% | 57.33% | 62.67% |
| 11 | 54.00% | 52.00% | 56.67% | 58.67% | 66.67% | 59.33% | 46.67% | 55.33% | 62.67% |
| 13 | 51.33% | 56.00% | 54.67% | 60.67% | 64.67% | 60.67% | 46.67% | 55.33% | 61.33% |
| 15 | 52.00% | 50.67% | 54.67% | 62.00% | 65.33% | 60.00% | 49.33% | 56.00% | 59.33% |

Hasil Klasifikasi yang dapat dilihat pada tabel 2, bagian tengah audio menunjukkan akurasi terbaik, dengan akurasi berkisar antara 46,00% hingga 68,67% dari pada durasi 10 detik dan 30 detik. Durasi 10 detik dan 30 detik menghasilkan akurasi yang kurang baik dibandingkan dengan durasi 20 detik yang memberikan hasil terbaik dengan akurasi 68,67% pada bagian tengah audio dengan nilai k=7. Pada gambar yang dapat dilihat pada tabel 3, dapat divisualisasikan dalam bentuk grafik dari hasil akurasi terhadap potong audio yang berbeda dengan metode *K-Nearest Neighbor* (KNN) dan ekstraksi fitur *Mel Frequency Cepstral Coefficients* (MFCC) pada potongan audio dari awal, tengah, dan akhir berdasarkan tiga durasi yang berbeda pada setiap file audio musik yaitu 10 detik, 20 detik, dan 30 detik. Potongan bagian audio yang memiliki akurasi terbaik adalah potongan bagian tengah audio. Secara keseluruhan, bagian tengah potongan audio menunjukkan akurasi klasifikasi yang lebih baik daripada

bagian awal dan akhir. Dalam durasi 10 detik, akurasi klasifikasi berkisar antara 46,00% hingga 62,00%, dengan hasil terbaik pada potong tengah dengan nilai k = 5, 7, 9, dan 15 mencapai 62,00%. Pada durasi 20 detik akurasi meningkat cukup signifikan, berkisar antara 48.00% hingga 68.67%, dengan hasil tertinggi pada potong tengah dengan nilai k=7 mencapai 68.67%. Pada durasi 30 detik, akurasi berkisar antara 53,33% hingga 63,33%, dengan hasil terbaik pada potong tengah dengan nilai k=5 mencapai 63,33%. Hasil visualisasi dalam bentuk gambar grafik dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. tabel visualisasi Hasil Akurasi terhadap potong audiodan durasi yang berbeda dengan metode KNN

| Bagian Audio | Grafik akurasi untuk potongan audio awal, tengah, dan akhir dengan durasi 10 detik, 20 detik, dan 30 detik. |
|---------------|--|
| Potong Awal | <p style="text-align: center;">Accuracy vs. K for Different audio cut section and durations</p> <p>Legend: - Blue: Duration: /content/drive/MyDrive/SKRIPSI/Hasil MFCC SKRIPSI/Hasil MFCC /Potong Awal/extracted_features_potong_awal_10_seconds.csv - Orange: Duration: /content/drive/MyDrive/SKRIPSI/Hasil MFCC SKRIPSI/Hasil MFCC /Potong Awal/extracted_features_potong_awal_20_seconds.csv - Green: Duration: /content/drive/MyDrive/SKRIPSI/Hasil MFCC SKRIPSI/Hasil MFCC /Potong Awal/extracted_features_potong_awal_30_seconds.csv</p> |
| Potong Tengah | <p style="text-align: center;">Accuracy vs. K for Different audio cut section and durations</p> <p>Legend: - Blue: Duration: /content/drive/MyDrive/SKRIPSI/Hasil MFCC SKRIPSI/Hasil MFCC /Potong Tengah/extracted_features_potong_tengah_30_seconds.csv - Orange: Duration: /content/drive/MyDrive/SKRIPSI/Hasil MFCC SKRIPSI/Hasil MFCC /Potong Tengah/extracted_features_potong_tengah_20_seconds.csv - Green: Duration: /content/drive/MyDrive/SKRIPSI/Hasil MFCC SKRIPSI/Hasil MFCC /Potong Tengah/extracted_features_potong_tengah_10_seconds.csv</p> |
| Potong Akhir | <p style="text-align: center;">Accuracy vs. K for Different audio cut section and durations</p> <p>Legend: - Blue: Duration: /content/drive/MyDrive/SKRIPSI/Hasil MFCC SKRIPSI/Hasil MFCC /Potong Akhir/extracted_features_potong_akhir_20_seconds.csv - Orange: Duration: /content/drive/MyDrive/SKRIPSI/Hasil MFCC SKRIPSI/Hasil MFCC /Potong Akhir/extracted_features_potong_akhir_30_seconds.csv - Green: Duration: /content/drive/MyDrive/SKRIPSI/Hasil MFCC SKRIPSI/Hasil MFCC /Potong Akhir/extracted_features_potong_akhir_10_seconds.csv</p> |

Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa durasi dan bagian potong audio berbeda memiliki dampak signifikan pada kinerja algoritma klasifikasi K-Nearest Neighbor (KNN). Bagian tengah audio menunjukkan akurasi terbaik, dengan akurasi berkisar antara 46,00% hingga 68.67% pada durasi 10 detik, 20 detik, dan 30 detik. Durasi 20 detik memberikan hasil terbaik dengan akurasi 68.67% pada bagian tengah audio dengan nilai $k=7$.

Oleh karena itu, disarankan untuk fokus pada audio bagian tengah dengan durasi sekitar 20 detik dan menggunakan nilai $k=7$ untuk hasil yang optimal. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa audio bagian tengah memberikan performa klasifikasi yang lebih baik, terutama pada durasi 20 detik dan nilai $k=7$. Hal ini menunjukkan bahwa audio bagian tengah lebih representatif dan informatif untuk klasifikasi genre musik. Oleh karena itu, disarankan untuk fokus pada audio bagian tengah dengan durasi sekitar 20 detik dan menggunakan nilai $k=7$ untuk hasil yang optimal.

4. Kesimpulan

Pengujian dilakukan dengan menerapkan K-Nearest Neighbor (KNN) dan ekstraksi fitur Mel Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) pada potongan audio dari awal, tengah, dan akhir dengan variasi durasi 10 detik, 20 detik, dan 30 detik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa potongan bagian tengah audio memiliki akurasi terbaik, dengan akurasi berkisar antara 46,00% hingga 68.67%. Durasi 20 detik memberikan hasil terbaik dengan akurasi 68.67% pada potongan tengah audio dengan nilai $k=7$.

Dari hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa audio bagian tengah memberikan akurasi klasifikasi yang lebih baik, terutama pada durasi 20 detik dan nilai $k=7$. Hal ini menunjukkan bahwa audio bagian tengah lebih representatif dan informatif untuk klasifikasi genre musik. Oleh karena itu, disarankan untuk fokus pada audio bagian tengah dengan durasi sekitar 20 detik dan menggunakan nilai $k=7$ untuk hasil yang optimal.

Referensi

- [1] As Sarofi, M. A., Irhamah, I., & Mukarromah, A. (2020). Identifikasi Genre Musik dengan Menggunakan Metode Random Forest. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 9(1), 79–86. <https://doi.org/10.12962/j23373520.v9i1.51311>
- [2] Adhinata, F. D., Rakhmadani, D. P., & Segara, A. J. T. (2021). Pengenalan Jenis Kelamin Manusia Berbasis Suara Menggunakan MFCC dan GMM. *Journal of Dinda : Data Science, Information Technology, and Data Analytics*, 1(1), 28–33. <https://doi.org/10.20895/dinda.v1i1.198>
- [3] Harsemadi, G., Sudarma, M., & Pramaita, N. (2017). Implementasi Algoritma K-Nearest Neighbor pada Perangkat Lunak Pengelompokan Musik untuk Menentukan Suasana Hati. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 16(1), 14–20. <https://doi.org/10.24843/mite.1601.03>
- [4] Habibi, A. M., & Santika, R. R. (2020). Implementasi Algoritma K-Nearest Neighbor dalam Menentukan Jurusan Menggunakan Metode Euclidean Distance Berbasis Web Pada SMP Setia Gama. *Skanika*, 3(4), 7–14.
- [5] Kurniawan, S., & Agustian, S. (2021). *Music Information Retrieval Menggunakan k-NN dan Cosine Similarity*. November, 94–101.
- [6] Nasution, N., Djahara, K., & Zamsuri, A. (2015). Evaluasi Kinerja Akademik Mahasiswa Menggunakan Algoritma Naive Bayes (Studi Kasus: Fasilkom Unilak). *Jurnal Teknologi Informasi Dan Komunikasi Digital Zone*, 6(2), 1–11.[7]
- [7] Prasetyo, P. D., Suta Wijaya, I. G. P., & Yudo Husodo, A. (2019). Klasifikasi Genre Musik Menggunakan Metode Mel-Frequency Cepstrum Coefficients dan K-Nearest Neighbors Classifier. *Jurnal Teknologi Informasi, Komputer, Dan Aplikasinya (JTika)*, 1(2), 189–197. <https://doi.org/10.29303/jtika.v1i2.41>
- [8] Tridarma, P., & Endah, S. N. (2020). *Pengenalan Ucapan Bahasa Indonesia Menggunakan MFCC dan Recurrent Neural Network*. 11, 36–44.

This page is intentionally left blank.

Sistem Personalized Recommendation dengan Pendekatan Ontologi untuk Menangani Masalah Obesitas

Putu Danny Satria Ananta Yuda¹, Anak Agung Istri Ngurah Eka Karyawati², I Wayan Supriana³, I Gede Santi Astawa⁴

^aProgram Studi Informatika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana

Jalan Raya Kampus Unud, Jimbaran, Bali, 80361, Indonesia

¹satria.ananta21@gmail@gmail.com

²eka.karyawati@unud.ac.id

³wayan.supriana@unud.ac.id

⁴santi.astawa@unud.ac.id

Abstrak

Studi ini mengembangkan sistem rekomendasi pribadi menggunakan pendekatan berbasis ontologi untuk mengatasi masalah obesitas. Sistem ini dirancang untuk memberikan rekomendasi makanan yang disesuaikan dengan karakteristik pengguna, seperti usia, jenis kelamin, dan preferensi makanan. Ontologi yang digunakan memungkinkan sistem memahami hubungan kompleks antara berbagai jenis makanan dan nutrisi, sehingga memberikan rekomendasi yang lebih akurat dan relevan. Evaluasi sistem dilakukan menggunakan metode Technology Acceptance Model (TAM), yang menunjukkan bahwa pengguna merasa sistem ini berguna dan mudah digunakan. Hasil survei menunjukkan bahwa skor rata-rata Perceived Usefulness (PU) adalah 4.167, Perceived Ease of Use (PEOU) adalah 4.233, Attitude Toward Using (ATU) adalah 4.033, dan Behavioral Intention to Use (BI) adalah 4.089, yang mengindikasikan bahwa sistem ini diterima dengan baik oleh pengguna. Kesimpulan dari studi ini menunjukkan bahwa sistem rekomendasi berbasis ontologi memiliki konsistensi yang baik dan dapat meningkatkan kepuasan pengguna dalam mengelola pola makan mereka. Saran untuk pengembangan lebih lanjut mencakup perluasan pengumpulan data, perbaikan algoritma rekomendasi dengan teknik pembelajaran mesin, perancangan antarmuka yang lebih intuitif, dan melibatkan pengguna dalam proses pengembangan sistem.

Kata kunci: Sistem Rekomendasi, Ontologi, Obesitas, Teknologi Informasi, Evaluasi TAM

Abstract

This study develops a personalized recommendation system using an ontology-based approach to address obesity issues. The system is designed to provide food recommendations tailored to the user's characteristics, such as age, gender, and food preferences. The ontology used enables the system to understand the complex relationships between various types of food and nutrition, thus providing more accurate and relevant recommendations. The system evaluation was conducted using the Technology Acceptance Model (TAM) method, which shows that users find this system useful and easy to use. Survey results indicate that the average Perceived Usefulness (PU) score is 4.167, Perceived Ease of Use (PEOU) is 4.233, Attitude Toward Using (ATU) is 4.033, and Behavioral Intention to Use (BI) is 4.089, indicating that the system is well accepted by users. The study's conclusion shows that the ontology-based recommendation system has good consistency and can enhance user satisfaction in managing their dietary patterns. Suggestions for further development include expanding data collection, improving recommendation algorithms with machine learning techniques, designing a more intuitive interface, and involving users in the system development process.

Keywords: Recommendation System, Ontology, Obesity, Information Technology, TAM Evaluation

1. Pendahuluan

Perkembangan zaman dan teknologi yang pesat telah meningkatkan risiko berbagai penyakit, terutama yang tidak menular seperti obesitas, penyakit jantung, diabetes, dan gangguan ginjal.[3] Obesitas, misalnya, telah menjadi masalah global yang signifikan. Data WHO menunjukkan bahwa pada 2016, sekitar 13% orang dewasa dunia mengalami obesitas, dan prevalensi di Indonesia meningkat dari 18,8% pada 2013 menjadi 21,8% pada 2018. [14]

Penanganan obesitas melalui diet sehat bisa mengurangi risiko penyakit terkait. Teknologi informasi dapat membantu dengan memberikan rekomendasi makanan yang sesuai berdasarkan kebutuhan individu dan nilai BMI[1]. Salah satu teknologi yang bermanfaat adalah ontologi, yang memetakan pengetahuan tentang makanan dan nutrisi, serta metode SAW (Simple Additive Weighting) yang memberi ranking pada makanan berdasarkan nutrisinya.[16]

Penelitian terbaru menunjukkan aplikasi ontologi dalam sistem rekomendasi makanan. Misalnya, pengembangan sistem rekomendasi makanan sehat menggunakan ontologi dan SWRL untuk membantu mengendalikan berat badan.[6] Penelitian yang mengembangkan sistem telehealthcare berbasis ontologi untuk orang dewasa tua[13], sementara penelitian ada penelitian yang menciptakan sistem rekomendasi untuk pengelolaan diabetes pada masyarakat suku Indian Amerika. Semua penelitian menunjukkan bahwa pendekatan ontologi dan sistem rekomendasi personalisasi dapat efektif dalam mengelola kesehatan.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan Design Science Research Methodology (DSRM) yang terdiri dari beberapa tahap utama:

1. **Identifikasi Masalah:** Mengidentifikasi masalah obesitas dan kebutuhan akan sistem rekomendasi makanan yang personal dan sesuai kondisi individu.
2. **Tujuan Solusi:** Mengembangkan sistem rekomendasi makanan berbasis ontologi yang memberikan rekomendasi sesuai profil pengguna seperti BMI dan preferensi makanan
3. **Perancangan dan Pengembangan:** Menggunakan Methontology untuk membangun ontologi yang memetakan pengetahuan tentang makanan dan nutrisi. Algoritma Simple Additive Weighting (SAW) digunakan untuk mengurutkan rekomendasi makanan.
4. **Demonstrasi:** Sistem diuji coba oleh pengguna untuk memastikan fungsionalitas dan memberikan rekomendasi berdasarkan profil mereka.
5. **Evaluasi:** Menggunakan Technology Acceptance Model (TAM) untuk mengevaluasi persepsi pengguna terhadap kemudahan penggunaan, kegunaan, dan niat menggunakan sistem.

2.1 Identifikasi Masalah dan Motivasi

Obesitas merupakan masalah kesehatan global yang semakin meningkat, termasuk di Indonesia. Untuk mengatasi obesitas, pemilihan makanan yang tepat dan seimbang sangat penting, namun seringkali sulit dilakukan.[8] Sistem rekomendasi makanan berbasis pengetahuan ontologi dan web semantik dapat membantu dengan mempertimbangkan kondisi kesehatan, preferensi, dan kebiasaan makan individu.[2]

Pendekatan ini memanfaatkan ontologi untuk memodelkan pengetahuan tentang makanan dan kesehatan, yang digunakan untuk menghasilkan rekomendasi makanan yang sesuai.[6] Meskipun sudah ada penelitian di Indonesia tentang sistem rekomendasi berbasis ontologi, penelitian ini masih terbatas. Oleh karena itu, dibutuhkan penelitian lebih lanjut untuk mengembangkan sistem yang lebih baik dan efektif dalam menangani obesitas.

2.2 Tujuan untuk Solusi

Tujuan utama dari penelitian ini adalah Meningkatkan kesadaran dan pengetahuan masyarakat tentang pola makan sehat sangat penting untuk mencegah dan mengurangi risiko obesitas. Dengan membantu pengidap obesitas memilih makanan yang sesuai untuk memenuhi kebutuhan nutrisi harian mereka, serta mempertimbangkan preferensi dan kondisi kesehatan seperti alergi atau penyakit tertentu, kita dapat mengurangi risiko penyakit terkait obesitas seperti diabetes, hipertensi, dan penyakit jantung. Mengintegrasikan teknologi berbasis ontologi dan web semantik dapat meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam memberikan rekomendasi makanan.[16] Platform interaktif yang menyediakan informasi tentang pola makan sehat dan rekomendasi makanan yang tepat dapat mendorong perubahan perilaku konsumen dan membantu masyarakat mengakses informasi kesehatan dan gizi yang tepat dan terpercaya, memberikan solusi untuk masalah obesitas dan penyakit terkaitnya yang merupakan isu kesehatan masyarakat penting saat ini[4]

2.3 Desain dan Pengembangan

Tahapan **Desain dan Pengembangan** dalam penelitian ini dilakukan melalui beberapa langkah utama, yaitu:

1. **Identifikasi kebutuhan pengguna:** Tahap awal adalah mengidentifikasi kebutuhan pengguna yang meliputi informasi makanan yang dibutuhkan, preferensi makanan, informasi gizi, serta informasi kesehatan terkait obesitas. Hal ini dapat dilakukan dengan wawancara atau survey.
2. **Pengembangan ontologi:** Ontologi yang berkaitan dengan informasi makanan, gizi, dan obesitas akan dikembangkan. Ontologi akan mencakup konsep-konsep dan relasi antara konsep-konsep tersebut.
3. **Pengembangan sistem:** Sistem rekomendasi akan dibangun dengan menggunakan ontologi yang telah dikembangkan. Sistem ini akan memanfaatkan teknologi web semantik dan database untuk menghasilkan rekomendasi makanan yang sesuai dengan kebutuhan pengguna.[9]
4. **Pengujian sistem:** Setelah sistem selesai dikembangkan, sistem akan diuji untuk mengetahui kinerjanya. Pengujian sistem meliputi pengujian fungsional, pengujian keandalan, dan pengujian performa.
5. **Evaluasi sistem:** Evaluasi dilakukan untuk mengevaluasi keefektifan sistem dalam memberikan rekomendasi makanan yang sesuai dengan kebutuhan pengguna. Evaluasi juga akan melibatkan pengguna untuk mengetahui kepuasan pengguna terhadap sistem rekomendasi yang telah dibangun.

2.4 Demonstrasi

Tahapan yang dilakukan setelah merancang dan membangun sebuah sistem yaitu melakukan uji coba terhadap sistem tersebut. Tahapan ini dinamakan dengan Demonstration yang bertujuan untuk menguji sistem yang telah dikembangkan berjalan sesuai dengan

perencanaan awal atau sesuai dengan keinginan. Pada tahapan pengujian ini, peserta diminta melakukan percobaan pada fitur yang disediakan pada sistem seperti melakukan penjelajahan, pencarian semantik dan juga menggunakan fitur rekomendasi dan hasil pengujian yang didapatkan akan dijadikan sebagai data pengujian melalui kuisisioner.[9]

2.5 Evaluasi

Evaluasi dilakukan untuk menilai efektivitas sistem dalam memenuhi kebutuhan pengguna menggunakan **Technology Acceptance Model (TAM)**. Evaluasi ini menilai persepsi kegunaan dan kemudahan penggunaan berdasarkan umpan balik pengguna. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem ini dianggap mudah digunakan dan berguna oleh mayoritas pengguna, sesuai dengan tujuan pengembangan .

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Desain dan Pembangunan Sistem

Desain dan pengembangan sistem rekomendasi dilakukan dengan langkah-langkah berikut:

1. Desain Ontologi: Mengembangkan ontologi yang mencakup konsep-konsep makanan, gizi, dan kesehatan terkait obesitas. Ontologi ini dirancang untuk merepresentasikan pengetahuan secara formal dan dapat digunakan oleh sistem untuk menghasilkan rekomendasi makanan. Dengan menginput query sparql pada website, ontology akan menjadi metode terpenting dalam merekomendasikan makanan
2. Pengembangan Algoritma Rekomendasi: Menggunakan metode Simple Additive Weighting (SAW) untuk menghitung skor dari setiap rekomendasi makanan berdasarkan kriteria yang telah ditentukan, seperti karakteristik nutrisi pada makanan, dan preferensi diet.
3. Implementasi Sistem: Membangun sistem rekomendasi berbasis web yang menggunakan ontologi dan algoritma rekomendasi untuk memberikan saran makanan yang personalized. Sistem ini juga dilengkapi dengan fitur kalkulator BMI dan antarmuka pengguna yang intuitif yang bertujuan sebagai patokan pengguna untuk memilih makanan yang sesuai dengan tubuhnya.

a. Desain

1. Model Ontologi

Model ontologi yang digunakan dalam penelitian ini memiliki beberapa kelas utama yang mencakup konsep-konsep penting terkait makanan, gizi, dan kesehatan, khususnya yang berhubungan dengan obesitas. Ontologi ini terdiri dari beberapa kelas utama seperti **bahan**, **BMI**, **diet**, **menu**, dan **spesifikasiMakanan**. Setiap kelas memiliki sub-kelas dan relasi yang jelas, yang digambarkan menggunakan OntoGraf untuk memvisualisasikan hubungan antar kelas dan individu. Misalnya, kelas **menu** memiliki sub-kelas seperti **hidanganUtama** dan **snack**, yang terhubung dengan berbagai atribut seperti tingkat protein dan tipe diet. seperti

yang ditunjukkan pada gambar 1.

Gambar 1. OntoGraf Ontologi Makanan Diet Obesitas

2. Perancangan Aplikasi

Pada sistem yang nantinya akan dibangun memiliki UI seperti pada gambar 2.



Gambar 2. Desain User Interface dari halaman Home

Gambar 4.10 menunjukkan halaman utama sebuah situs web yang didedikasikan untuk program diet, dengan fokus pada kemudahan penggunaan dan daya tarik visual. Pada bagian atas, terdapat menu navigasi yang sederhana dengan pilihan seperti "Home," "About," dan "More," serta logo yang sederhana di pojok kiri atas. Hero section menampilkan gambar salad segar dengan teks ajakan seperti "Start your diet, with Dietary," yang bertujuan untuk menarik perhatian pengguna. Di bawahnya, terdapat penjelasan singkat mengenai berbagai layanan yang ditawarkan, termasuk kalkulasi indeks massa tubuh (BMI), menu resep sehat, bahan makanan, program diet, dan spesifikasi makanan. Bagian ini bertujuan untuk memberikan gambaran umum tentang layanan yang tersedia, dengan ajakan lebih lanjut untuk menjelajahi detail program diet mereka.

b. Pembangunan Sistem

implementasi sistem dilakukan dengan menggunakan metode Prototyping, yang mencakup pengembangan iteratif berdasarkan umpan balik pengguna. Sistem ini diimplementasikan menggunakan teknologi berbasis ontologi yang diintegrasikan dengan server Apache Jena Fuseki untuk mengelola data dan menjalankan query SPARQL. Sistem ini menyediakan rekomendasi makanan berdasarkan algoritma Simple Additive Weighting (SAW), yang memproses data dari ontologi untuk memberikan rekomendasi yang dipersonalisasi sesuai dengan kebutuhan pengguna.



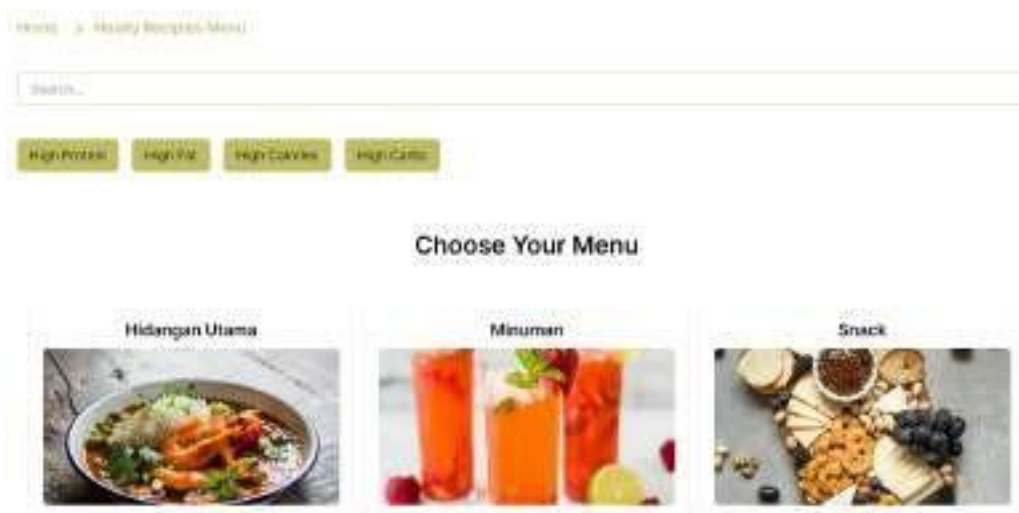
Gambar 3. Antarmuka Halaman Dashboard

Pada Gambar 3 merupakan Halaman utama situs web, ini dirancang untuk program diet, dengan fokus pada kemudahan penggunaan dan daya tarik visual. Menu navigasi sederhana di bagian atas mencakup opsi seperti "Home," "About," dan "More," dengan logo di pojok kiri atas. Hero section menampilkan gambar salad segar dan teks ajakan "Start your diet, with Dietry," untuk menarik perhatian pengguna. Di bawahnya, terdapat penjelasan singkat tentang layanan seperti kalkulasi BMI, menu resep sehat, bahan makanan, program diet, dan spesifikasi makanan, memberikan gambaran umum tentang layanan yang ditawarkan.



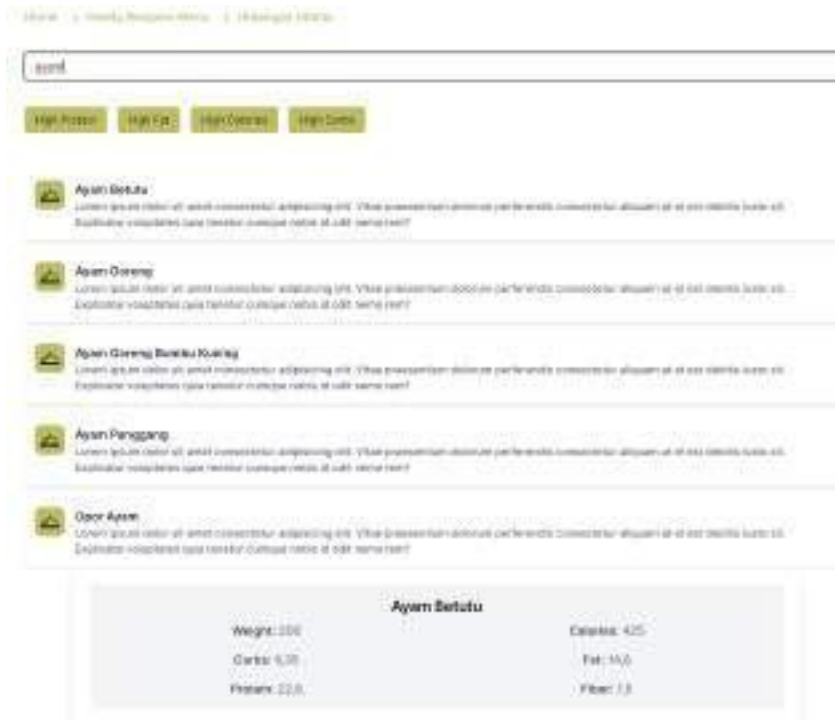
Gambar 4. Tampilan Menu Body Mass Calculation

Pada Gambar 4 menggambarkan halaman yang lebih terperinci untuk memulai pencarian makanan atau diet secara personal. Setelah pengguna memilih layanan dari halaman utama, mereka akan melihat indikator BMI yang menunjukkan status kesehatan mereka misalnya, angka BMI 38.06 yang mengategorikan pengguna sebagai obesitas. Halaman ini menawarkan berbagai pilihan diet seperti "Diet Dash," "Diet Intermittent Fasting," dan "Diet Katogenik," serta saran menu makanan tinggi protein dan serat. Pengguna dapat memilih salah satu diet untuk mendapatkan rekomendasi makanan yang sesuai, dengan desain yang memandu mereka secara personal dalam menurunkan berat badan.



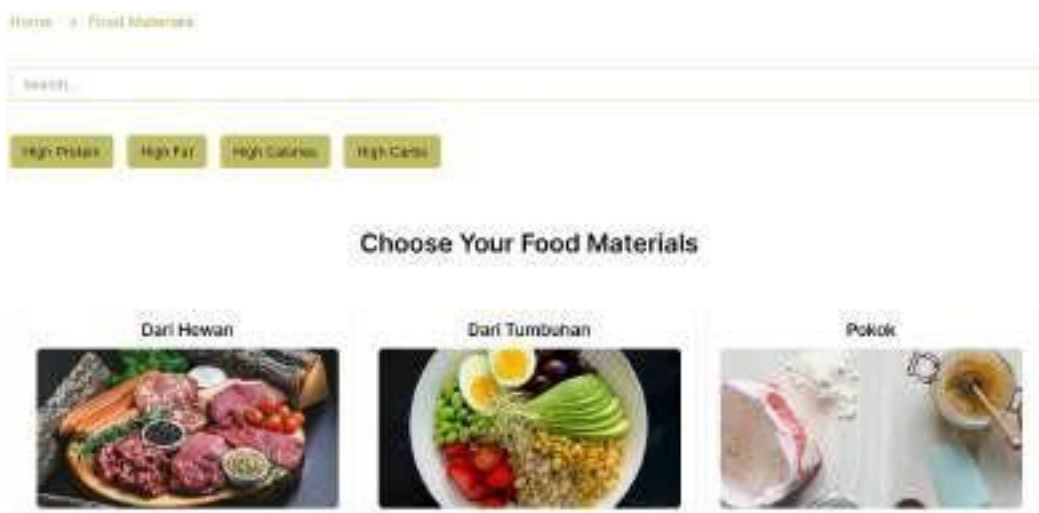
Gambar 5. Tampilan Menu Healty Recipes Menu

Pada Gambar 5 merupakan Halaman utama Menu Healty Recipes menyajikan pilihan kategori resep seperti Hidangan Utama, Minuman, dan Snack, yang masing-masing dilengkapi dengan gambar representatif. Pengguna dapat memilih kategori resep sesuai kebutuhan, serta menggunakan filter nutrisi seperti High Protein, High Fat, High Calories, dan High Carbs untuk menemukan resep yang sesuai dengan preferensi diet mereka. Selain itu, terdapat kolom pencarian di bagian atas untuk memudahkan pencarian resep tertentu.



Gambar 6. Tampilan saat memilih salah satu dari pilihan menu

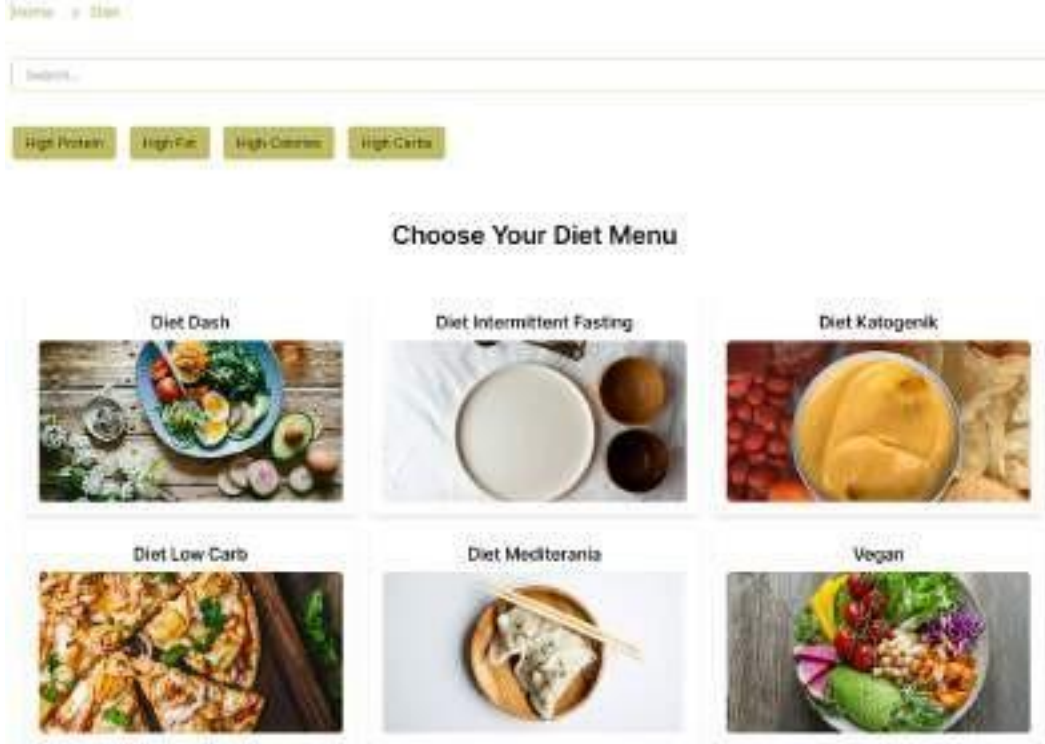
Gambar 6 menunjukkan halaman hasil pencarian untuk kata kunci "ayam" dalam kategori Hidangan Utama. Sistem menampilkan resep-resep seperti Ayam Betutu, Ayam Goreng, dan Opor Ayam, lengkap dengan deskripsi singkat, ikon informasi tentang kesulitan, waktu pembuatan, dan porsi. Pengguna juga dapat menggunakan filter nutrisi, seperti High Fat, untuk menyesuaikan hasil pencarian dengan kebutuhan diet mereka.



Gambar 7. Tampilan Menu Food Materials

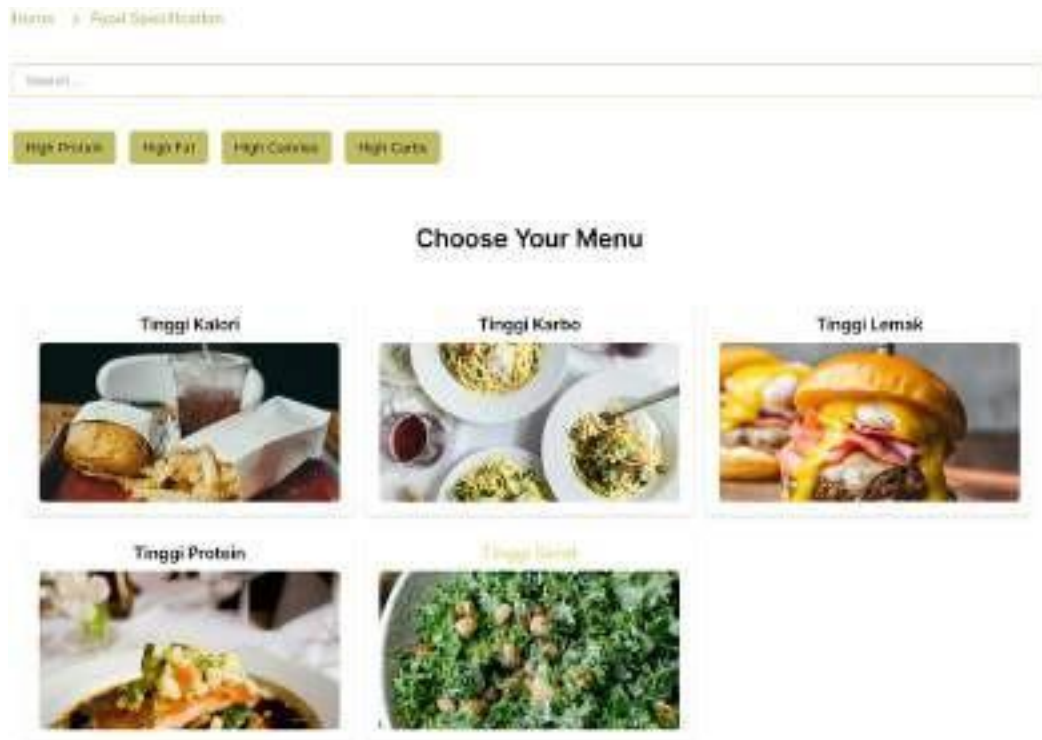
Gambar 7 menunjukkan antarmuka web untuk memilih bahan makanan dengan judul "Pilih Bahan Makanan Anda." Bahan makanan dikelompokkan dalam tiga kategori: "Dari Hewan"

(produk hewani), "Dari Tumbuhan" (sayuran, buah-buahan, biji-bijian, kacang-kacangan), dan "Pokok" (bahan dasar seperti tepung dan beras). Di bagian atas, ada tombol filter untuk menyaring bahan makanan berdasarkan kandungan nutrisi seperti "Tinggi Protein," "Tinggi Lemak," "Tinggi Kalori," dan "Tinggi Karbohidrat," memudahkan pengguna memilih sesuai kebutuhan diet mereka.



Gambar 8. Tampilan Menu Diet

Gambar 8 menunjukkan antarmuka untuk memilih menu diet dengan judul "Pilih Menu Diet Anda." Antarmuka ini menawarkan berbagai opsi diet, termasuk Diet DASH (fokus pada buah, sayuran, dan produk susu rendah lemak), Diet Intermittent Fasting (siklus makan dan puasa), Diet Ketogenik (tinggi lemak, rendah karbohidrat), Diet Low Carb (rendah karbohidrat), Diet Mediterranean (mengutamakan minyak zaitun, sayuran, dan ikan), dan Vegan (berbasis tanaman). Setiap opsi disertai gambar untuk menjelaskan konsepnya, dan terdapat filter nutrisi di bagian atas untuk menyaring menu berdasarkan protein, lemak, kalori, dan karbohidrat.

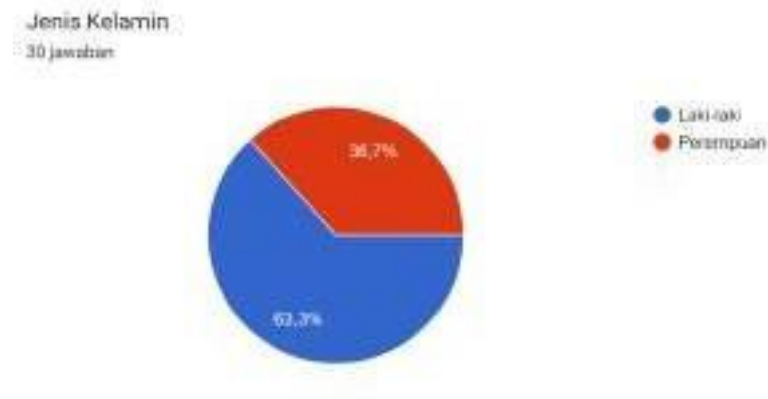


Gambar 9. Tampilan Menu Food Spesification

Gambar 9 menunjukkan antarmuka web dengan judul "Pilih Menu Anda," yang memungkinkan pengguna memilih makanan berdasarkan kandungan nutrisinya. Terdapat lima kategori: "Tinggi Kalori" (makanan energi tinggi), "Tinggi Karbo" (menu kaya karbohidrat), "Tinggi Lemak" (makanan tinggi lemak), "Tinggi Protein" (menu kaya protein), dan "Tinggi Serat" (makanan tinggi serat). Di bagian atas antarmuka, terdapat tombol filter untuk menyaring menu berdasarkan nutrisi spesifik seperti protein, lemak, kalori, dan karbohidrat, memudahkan pengguna menemukan makanan sesuai dengan kebutuhan diet mereka.

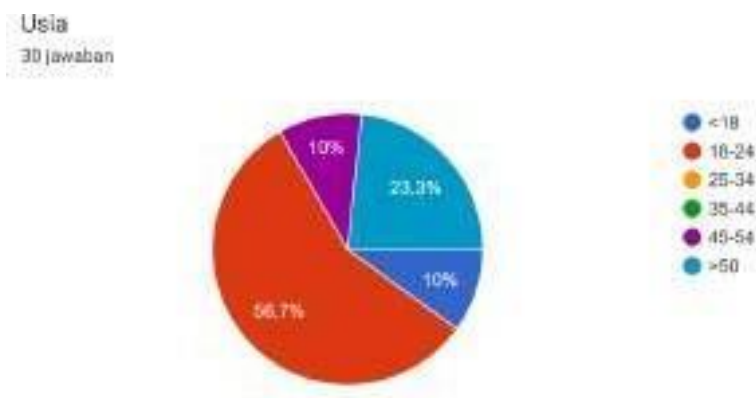
3.2 Implementasi Pengujian dan Evaluasi Sistem

Untuk mengukur kepuasan pengguna dilakukan penyebaran kuesioner dengan 30 orang total responden yang telah memberikan penilaian. Lalu identitas dari responden akan dijelaskan melalui gambar dibawah.



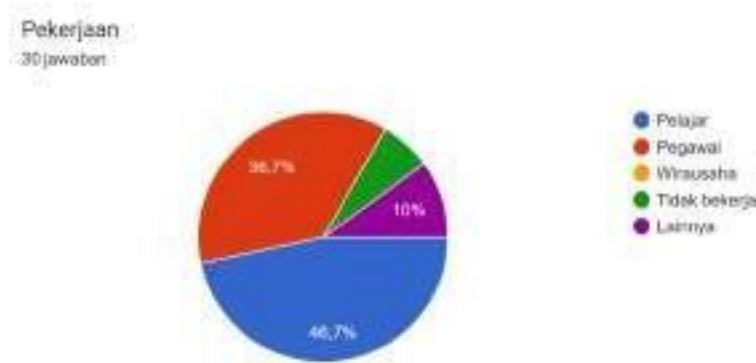
Gambar 10. Jenis Kelamin Pengguna

Berdasarkan gambar 10 menunjukkan bahwa,, 63,3% Laki-laki dan 36,7% Perempuan.



Gambar 11. Usia Pengguna

Berdasarkan gambar 11, pengisi berumur <18 tahun sebanyak 10%, 18-24 tahun sebanyak 56,7%, 25-34 tahun sebanyak 0%, 45-54 sebanyak 10% dan umur >50 tahun sebanyak 23,3%.



Gambar 12. Pekerjaan Pengguna

Berdasarkan 12, terdapat beberapa pilihan jawaban pekerjaan seperti pelajar, pegawai, wirausaha, tidak bekerja, lainnya (diluar pekerjaan yang disebutkan tadi), lalu pekerjaan dari responden meliputi 46,7% merupakan seorang pelajar, 36,7% bekerja sebagai pegawai, 10% lainnya, 6,6 tidak bekerja.

a. Perceived Usefulness (PU)

Perceived Usefulness (PU) dievaluasi melalui tiga pertanyaan terkait manfaat website Makanandiet dalam membantu mengelola diet, memberikan rekomendasi makanan, dan melacak asupan kalori serta nutrisi, dengan hasil seperti berikut:

| | Nilai 1 | Nilai 2 | Nilai 3 | Nilai 4 | Nilai 5 |
|-----|---------|---------|---------|---------|---------|
| PU1 | 0 | 1 | 7 | 8 | 14 |
| PU2 | 0 | 1 | 6 | 9 | 14 |
| PU3 | 0 | 1 | 4 | 10 | 14 |

Data dari responden menunjukkan rata-rata nilai untuk PU1, PU2, dan PU3 masing-masing adalah 4.1667, 4.2000, dan 4.1333. Rata-rata keseluruhan dari ketiga pertanyaan tersebut adalah 4.1667, yang menunjukkan bahwa responden umumnya setuju bahwa website ini bermanfaat.

b. Perceived Ease of Use (PEOU)

Perceived Ease of Use (PEOU) dievaluasi melalui tiga pertanyaan tentang kemudahan penggunaan, antarmuka intuitif, dan kemudahan menemukan informasi di website Makanandiet. dengan hasil seperti berikut:

| | Nilai 1 | Nilai 2 | Nilai 3 | Nilai 4 | Nilai 5 |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|
| PEOU1 | 0 | 1 | 5 | 10 | 14 |
| PEOU2 | 0 | 2 | 3 | 10 | 14 |
| PEOU3 | 0 | 2 | 3 | 11 | 14 |

Berdasarkan data responden, rata-rata untuk setiap pertanyaan (PEOU1, PEOU2, PEOU3) adalah 4.2333. Rata-rata keseluruhan untuk konstruk PEOU juga 4.2333, menunjukkan bahwa responden umumnya merasa website ini mudah digunakan.

c. Attitude Toward Using (ATU)

Attitude Toward Using (ATU) dievaluasi melalui tiga pertanyaan terkait kepuasan dan efektivitas website Makanandiet. dengan hasil seperti berikut:

| | Nilai 1 | Nilai 2 | Nilai 3 | Nilai 4 | Nilai 5 |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|
| ATU1 | 0 | 1 | 7 | 10 | 12 |
| ATU2 | 0 | 1 | 6 | 11 | 11 |
| ATU3 | 0 | 1 | 9 | 7 | 13 |

Berdasarkan data responden, rata-rata untuk setiap pertanyaan (ATU1, ATU2, ATU3) masing-masing adalah 4.1, 4.069, dan 4.067. Rata-rata keseluruhan untuk konstruk ATU adalah 4.079, menunjukkan bahwa responden umumnya memiliki sikap positif terhadap penggunaan website ini.

d. Behavioral Intention to Use (BI)

Behavioral Intention to Use (BI) dievaluasi melalui tiga pertanyaan tentang niat menggunakan, merekomendasikan, dan manfaat website Makanandiet. Berdasarkan data responden, dengan hasil seperti berikut:

| | Nilai 1 | Nilai 2 | Nilai 3 | Nilai 4 | Nilai 5 |
|-----|---------|---------|---------|---------|---------|
| BI1 | 0 | 1 | 11 | 7 | 11 |
| BI2 | 0 | 1 | 6 | 8 | 15 |
| BI3 | 0 | 1 | 9 | 6 | 14 |

rata-rata untuk setiap pertanyaan (BI1, BI2, BI3) masing-masing adalah 3.933, 4.233, dan 4.1. Rata-rata keseluruhan untuk konstruk BI adalah 4.089, menunjukkan bahwa responden umumnya berniat untuk terus menggunakan dan merekomendasikan website ini.

e. Rangkuman Nilai Rata-rata

- Perceived Usefulness (PU): 4.167
- Perceived Ease of Use (PEOU): 4.233
- Attitude Toward Using (ATU): 4.033
- Behavioral Intention to Use (BI): 4.089

Berdasarkan evaluasi pengguna, sistem ini memberikan tingkat kepuasan yang baik. Pengguna merasa terbantu dengan rekomendasi yang diberikan oleh sistem dalam mengatur pola makan. Antarmuka yang intuitif dan mudah digunakan juga berkontribusi pada tingginya tingkat kepuasan pengguna.

4. Kesimpulan

Penelitian ini telah berhasil mengembangkan sebuah sistem rekomendasi personalized dengan pendekatan ontologi untuk menangani masalah obesitas. Berdasarkan hasil yang diperoleh, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. **Konsistensi Ontologi:** berdasarkan beberapa pengujian dari sparql query yang mana. Query ini berperan penting dalam memberikan rekomendasi, konsistensi didapatkan, karena melalui beberapa uji coba ontology dapat memberikan beberapa hasil dari pencarian makanan yang dilakukan. Selain itu, pada Bab demonstration juga menunjukkan bagaimana query ini memberikan hasil yang sesuai dari karakteristik pengguna. Selain itu untuk mendapatkan nilai pasti untuk konsistensi ontology, pada penelitian ini telah dilakukan survey dengan sekala linkert 1-5 yang hasilnya telah dibahas pada BAB 4.8.1.2 yang membahas tentang Perceived Usefulness (PU), lebih spesifiknya pada pertanyaan PU 2 yang mana hasil yang didapatkan adalah 4.2000. Jadi berdasarkan perhitungan tersebut didapatkan hasil 4.2, Nilai rata-rata 4.0 atau lebih dianggap baik. Ini menunjukkan bahwa, secara rata-rata, pengguna merasa positif dan terbantu oleh rekomendasi yang diberikan oleh ontology pada website yang telah dibangun. Maka dapat disimpulkan bahwa kekonsistenan dari ontology pada web diet makanan, sudah berjalan dengan baik

2. **Kepuasan Pengguna:** untuk menguji kepuasan, saya menggunakan metode TAM dengan skala linkert 1-5. Berdasarkan hasil dari survey dan perhitungan yang menggunakan metode TAM didapatkan nilai rata-rata, Perceived Usefulness (PU): 4.167, Perceived Ease of Use (PEOU): 4.233, Attitude Toward Using (ATU): 4.033, Behavioral Intention to Use (BI): 4.089. yang mana Nilai rata-rata 4.0 atau lebih dianggap baik. Ini menunjukkan bahwa, secara rata-rata, pengguna merasa positif. Pengguna merasa terbantu dengan rekomendasi yang diberikan oleh sistem dalam mengatur pola makan, yang berpotensi membantu dalam penanganan obesitas secara efektif .

Referensi

- [1] Agustina, L. M., Santoso, I. A., & Mahendra, R. (2021). Pemanfaatan Teknologi Semantic Web untuk Perpustakaan Digital. *I-SHARE: Jurnal Ilmu Perpustakaan dan Informasi*, 9(2), 108-123.
- [2] Ahmed, F., Islam, S., & Hasan, M. M. (2020). A comprehensive review on health benefits of dietary fruits and vegetables: A context-based interpretation of empirical findings. *Journal of Food Science and Technology*, 57(8), 2679-2689.
- [3] Hawkes, C., Friel, S., Lobstein, T., Lang, T., & Kelly, B. (2020). The problem of unhealthy food and its relation to social inequalities: A commentary on the World Health Organization's Commission on Ending Childhood Obesity report. *Australian and New Zealand Journal of Public Health*, 44(1), 8-10.
- [4] Himawan, Harjanti, T. W., Supriati, R., & Setiyani, H. (2020). Evolusi Penggunaan Teknologi Web 3.0: Semantic Web. *Journal of Information System, Graphics, Hospitality and Technology*, 2(2), 54–60.
- [5] Judd, P. A., Menzies, I. S., & Seymour, G. B. (2020). *Understanding food and nutrition: Food science, nutrition and health*. Routledge.

- [6] N. H. D. Arifah, Y. Adhi, R. Budiarto, & D. A. Nugroho. (2020). A Comparative Study of Ontology Tools for Developing an Ontology-Based Knowledge Management System. In 2020 3rd International Conference on Computer Science and Artificial Intelligence (CSAI) (pp. 135-139).
- [7] Noy, N. F., & McGuinness, D. L. (2001). Ontology development 101: A guide to creating your first ontology. Stanford Knowledge Systems Laboratory Technical Report KSL-01-05, 1(1), 1-32.
- [8] Popkin, B. M., & Adair, L. S. (2022). Global nutrition transition and the pandemic of obesity in developing countries. *Nutrition Reviews*, 80(suppl_1), 4-14. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuaa025>
- [9] Pratama, R. (2020). Web Semantik: Sejarah, Konsep, dan Implementasi. *Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi Asia*, 14(1), 29-38.
- [10] Sowa, J. F. (2014). *Conceptual structures: Information processing in mind and machine*. Springer.
- [11] Su, J., Zhang, H., & Hu, J. (2021). A research review on ontology learning and its application in natural language processing. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, 12(7), 1543-1561.
- [12] Suryawan, F. A., & Sudiana, I. M. (2021). Penggunaan Query Language SPARQL dalam Pencarian dan Integrasi Data pada Lingkungan Web Semantik. *Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi Asia*, 15(2), 152-163.
- [13] T. M. Mohamed, A. G. Abdel-Hamid, & A. M. El-Nahas. (2021). A Proposed Ontology-Based Model for Effective Information Retrieval in Social Networks. In 2021 IEEE 11th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC) (pp. 0095-0102).
- [14] World Health Organization. (2020). Obesity and overweight. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>
- [15] C. D. Dantas, E. R. Hruschka Jr, & A. A. Freitas. (2012). A survey of distance and similarity measures used within networked-based recommender systems. *Journal of Network and Computer Applications*, 35(4), 1358-1374.
- [16] A. R. Hidayatullah, A. Pratama, R. S. Siregar, & R. Setiyawan. (2021). An Ontology-Based Personalized Recommendation System for Supporting Healthier Food Choices. In 2021 6th International Conference on Informatics and Computing (ICIC) (pp. 1-5).

This page is intentionally left blank.

Representasi Digital Secara Semantik dari Warisan Budaya Bali: Studi Kasus pada Kain Tenun Gringsing

I Putu Duta Awidya Sartana Putra¹, Luh Gede Astuti², Cokorda Rai Adi Pramatha³, I Komang Ari Mogi⁴

^aProgram Studi Informatika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Udayana

Jalan Raya Kampus Unud, Jimbaran, Bali, 80361, Indonesia

¹dutaawidya19@gmail.com

²lg.astuti@unud.ac.id

³cokorda@unud.ac.id

⁴arimogi@unud.ac.id

Abstract

Gringsing cloth, a unique and traditional Balinese textile, is facing significant preservation challenges, particularly in the digital age where documentation and accessibility are limited. This study addresses these issues by developing a digital documentation system for Gringsing cloth using an ontology-based approach to manage and organize its complex information. The study followed the Design Science Research Methodology (DSRM), identifying key problems and setting objectives to preserve and enhance the accessibility of Gringsing knowledge. The system was designed based on interviews with Gringsing producers and an extensive literature review. Utilizing Methontology, an ontology was created to capture essential aspects of the cloth, including motifs, colors, sizes, and their cultural uses. The web-based system was developed using Semantic Web technologies, ensuring accurate information retrieval through SPARQL queries. The system was tested with 30 users using Black-box Testing to verify its functionality. Furthermore, an evaluation with the Technology Acceptance Model (TAM) revealed positive feedback regarding ease of use and perceived usefulness, highlighting the system's practicality and its potential benefit for preserving the Gringsing tradition.

Keywords: *Gringsing, Ontology, Semantic Web, Methontology, SPARQL*

1. Pendahuluan

Kain Gringsing Bali merupakan salah satu warisan budaya yang sangat berharga di Bali, dikenal dengan motifnya yang rumit serta proses pembuatannya yang memakan waktu lama. Kain ini tidak hanya memiliki nilai estetika, tetapi juga nilai filosofis yang mendalam, terutama dalam penggunaannya dalam berbagai upacara adat dan keagamaan di Bali. Namun, seiring dengan pesatnya perkembangan era digital, pelestarian kain Gringsing menghadapi tantangan serius. Tanpa adanya upaya yang terarah untuk mendokumentasikan dan mempromosikan kain ini secara digital, ada risiko bahwa pengetahuan tentang Gringsing dapat hilang atau terlupakan oleh generasi mendatang.

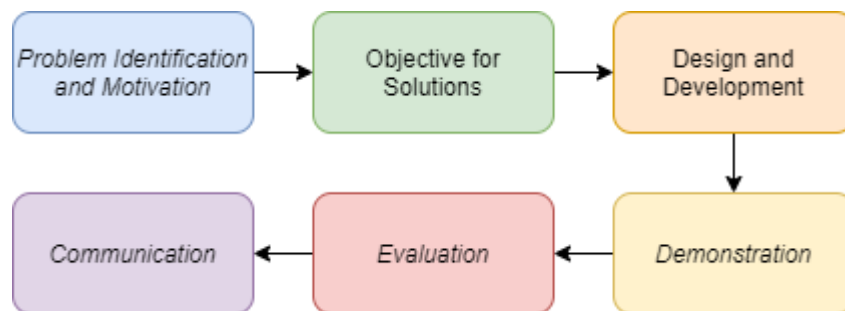
Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa digitalisasi warisan budaya dengan menggunakan teknologi semantik dan ontologi mampu mengorganisasikan informasi yang kompleks secara lebih terstruktur. Misalnya, penelitian menggunakan pendekatan ontologi pada beberapa warisan budaya lain telah terbukti efektif dalam memfasilitasi pelestarian informasi, baik dalam pengelolaan data maupun aksesibilitas. Salah satu metode yang umum digunakan dalam proyek pelestarian digital adalah Methontology, yang membantu menyusun model ontologi dengan jelas dan terstruktur, sehingga mempermudah representasi informasi budaya yang rumit.

Namun, dalam konteks kain Gringsing, belum banyak penelitian yang menerapkan pendekatan ini secara khusus. Mengingat keunikan kain Gringsing dan tantangan pelestarian di era digital, urgensi penelitian ini sangatlah tinggi. Sistem representasi digital berbasis ontologi dapat menjadi solusi efektif untuk mengatasi tantangan tersebut, dengan memberikan akses yang lebih mudah bagi masyarakat dan peneliti dalam mempelajari warisan budaya ini. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem dokumentasi digital kain Gringsing menggunakan pendekatan ontologi, berdasarkan keberhasilan metode ini dalam pelestarian budaya lainnya. Dengan demikian, sistem ini diharapkan dapat memperluas upaya pelestarian

kain Gringsing dan mendorong kesadaran masyarakat akan pentingnya menjaga warisan budaya tersebut.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menerapkan metodologi *Design Science Research Methodology* (DSRM) yang berfokus pada pengembangan dan evaluasi artefak sebagai solusi atas masalah yang diidentifikasi. Proses dimulai dengan identifikasi kebutuhan, diikuti oleh perancangan dan pengembangan ontologi yang representatif terhadap kain Gringsing Bali. Tahap evaluasi dilakukan untuk memastikan artefak yang dikembangkan memenuhi kebutuhan dan dapat diimplementasikan secara efektif. DSRM digunakan untuk memastikan bahwa solusi yang dihasilkan tidak hanya teoritis tetapi juga praktis dan dapat diterapkan dalam konteks yang nyata.



Gambar 1. Metode DSRM

2.1 Identifikasi Masalah dan Motivasi

Kain Gringsing Bali, meskipun bernilai historis dan filosofis tinggi, masih kurang terdokumentasi secara digital. Keterbatasan akses informasi ini menghambat upaya pelestarian dan pembelajaran kain tersebut, terutama di era digital. Penelitian ini termotivasi untuk mengatasi masalah tersebut dengan mengembangkan sistem digital berbasis ontologi, guna menyajikan informasi Kain Gringsing secara terstruktur dan mudah diakses. Tujuannya adalah untuk mendukung pelestarian budaya, memfasilitasi pembelajaran, serta meningkatkan apresiasi terhadap Kain Gringsing.

2.2 Objective for Solutions

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menciptakan sistem dokumentasi digital yang secara efektif merepresentasikan dan menjelaskan kain Gringsing Bali. Sistem ini akan menggunakan pendekatan ontologi untuk membangun struktur semantik yang terorganisir dengan baik, sehingga memudahkan pengguna dalam mencari informasi mengenai sejarah, teknik pembuatan, motif, dan nilai budaya yang terkait dengan kain Gringsing Bali. Dengan adanya sistem ini, diharapkan pengetahuan masyarakat tentang kain Gringsing Bali dapat diperluas dan budaya Bali dapat dipromosikan secara lebih luas.

2.3 Desain dan Pengembangan

Tahapan **Desain dan Pengembangan** dalam penelitian ini dilakukan melalui beberapa langkah utama, yaitu:

1. **Analisis Kebutuhan:** Identifikasi kebutuhan fungsional dan non-fungsional untuk sistem yang akan dikembangkan. Kebutuhan fungsional mencakup kemampuan sistem dalam menyediakan fitur penjelajahan dan pencarian informasi terkait kain Gringsing secara detail. Kebutuhan non-fungsional mencakup perangkat keras dan lunak yang diperlukan untuk implementasi sistem.

2. **Pengumpulan Data:** Proses ini dilakukan melalui survei awal untuk mengetahui pengetahuan masyarakat mengenai kain Gringsing, serta pengumpulan data untuk pembangunan ontologi yang akan digunakan sebagai basis data sistem.
3. **Pembangunan Model Ontologi:** Tahapan ini melibatkan pembuatan model ontologi yang mampu merepresentasikan informasi terkait kain Gringsing secara semantik dan terstruktur, dengan menggunakan metodologi yang sesuai.
4. **Implementasi Sistem:** Proses pengkodean dan pengembangan aplikasi berbasis web yang mengimplementasikan desain yang telah dibuat, dengan tujuan untuk memungkinkan pengguna melakukan pencarian dan penjelajahan informasi mengenai kain Gringsing.

2.4 Demonstrasi and Evaluasi

Demonstrasi

Pada tahap ini, sistem yang telah dikembangkan diuji untuk memastikan fungsionalitasnya berjalan sesuai dengan yang diharapkan. Pengujian dibagi menjadi dua jenis: pengujian fungsional menggunakan metode *Black-box Testing* dan pengujian pemahaman sistem oleh pengguna.

- **Pengujian Fungsional:** Pengujian ini dilakukan untuk memverifikasi apakah fitur-fitur utama, seperti *Filtered Search* dan *Keyword-Based Search*, bekerja sesuai dengan yang direncanakan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semua fitur berjalan dengan baik, dengan hasil yang sesuai dengan ekspektasi.
- **Pengujian Pemahaman Sistem:** Pengujian ini melibatkan pengguna, yang diminta untuk menggunakan sistem dan memberikan tanggapan mereka tentang kemudahan penggunaan serta keefektifan sistem. Pengumpulan data dilakukan melalui kuesioner dengan skala Likert, yang mengukur persepsi kegunaan dan kemudahan penggunaan sistem.

Evaluasi

Evaluasi dilakukan untuk menilai efektivitas sistem dalam memenuhi kebutuhan pengguna dan menyelesaikan permasalahan yang telah diidentifikasi. Penilaian dilakukan dengan menggunakan model *Technology Acceptance Model (TAM)*, yang mengukur persepsi kegunaan dan kemudahan penggunaan sistem berdasarkan umpan balik dari pengguna. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa sistem ini dianggap mudah digunakan dan berguna oleh mayoritas pengguna, sesuai dengan tujuan pengembangan sistem.

2.5 Demonstrasi dan Evaluasi

Tahapan ini merupakan tahapan terakhir yang dimana penelitian ini akan dituliskan pada buku tugas akhir dan akan diterbitkan dalam jurnal ilmiah.

3. Hasil dan Pembahasan

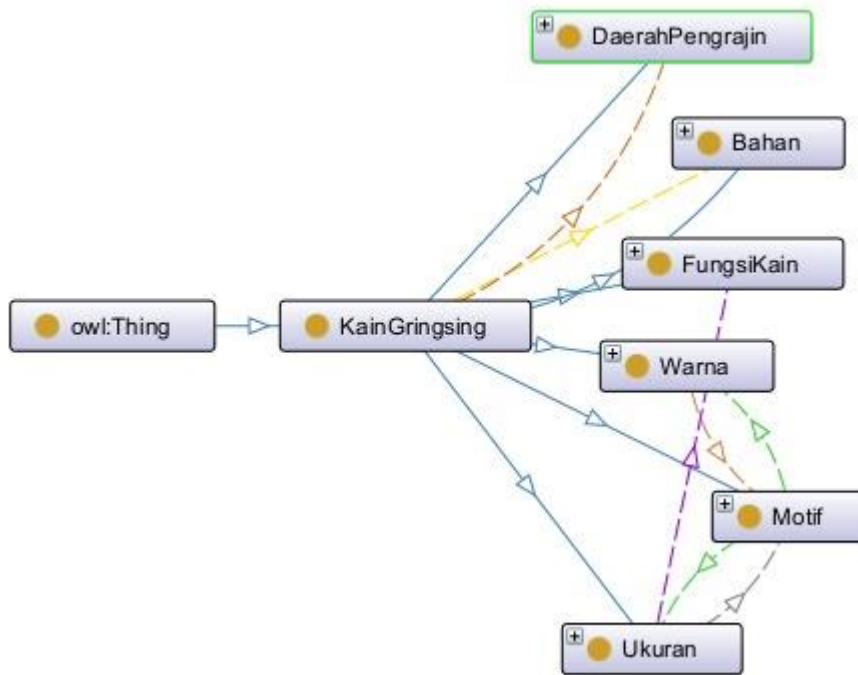
3.1 Desain dan Pembangunan Sistem

Dalam pengembangan Sistem Representasi Digital kain Gringsing menggunakan salah satu tahapan pada metode Design Science Research Method (DSRM) yaitu design and development. Pada tahapan design terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan seperti analisis kebutuhan, pengumpulan data, pembangunan model, dan perancangan antarmuka pengguna. Sedangkan pada tahapan development dilakukan implementasi source code untuk menerapkan pembangunan dari perancangan desain aplikasi yang dibuat.

a. Desain

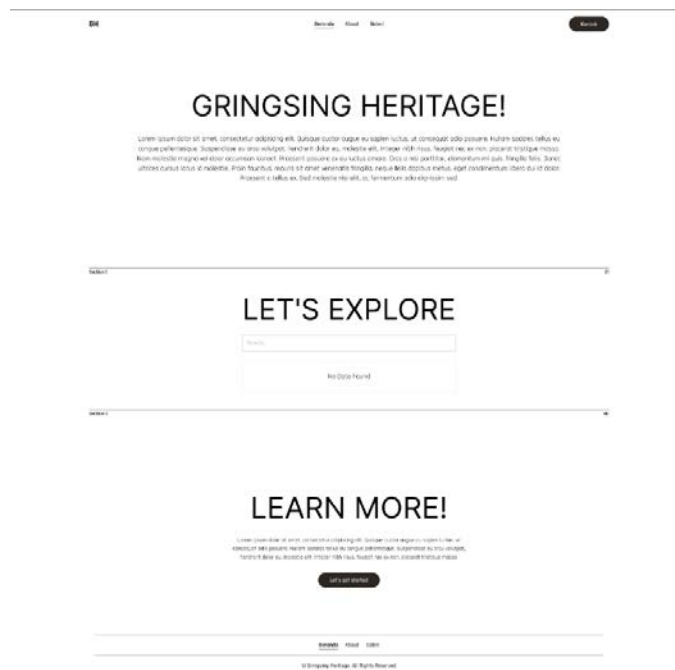
1. Model Ontologi

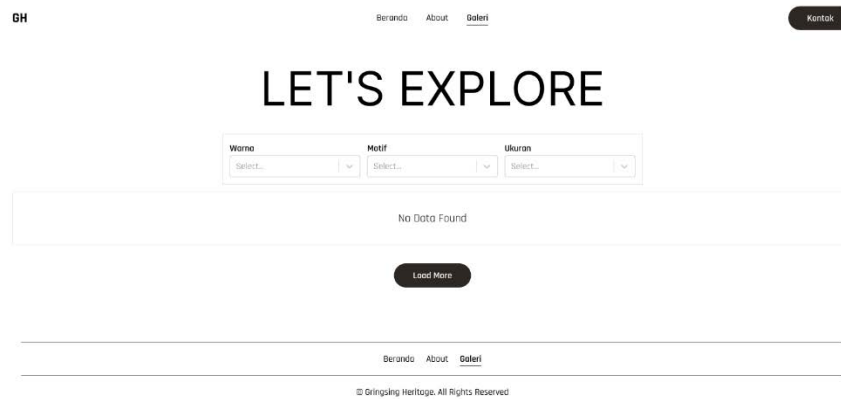
Model ontologi yang digunakan pada penelitian ini memiliki 7 *Class*, yaitu KainGringsing, Ukuran, Motif, Warna, FungsiKain, Bahan, DaerahPengrajin. Masing-masing dari *Class* ini memiliki *data properties* masing-masing yang berguna dalam fitur pencarian semantik. Ontologi juga memiliki OntoGraf untuk menggambarkan keterkaitan antar *Class* yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. OntoGraf Ontologi Kain Gringsing

2. Perancangan Aplikasi
Pada sistem yang nantinya akan dibangun memiliki UI seperti pada gambar 3.



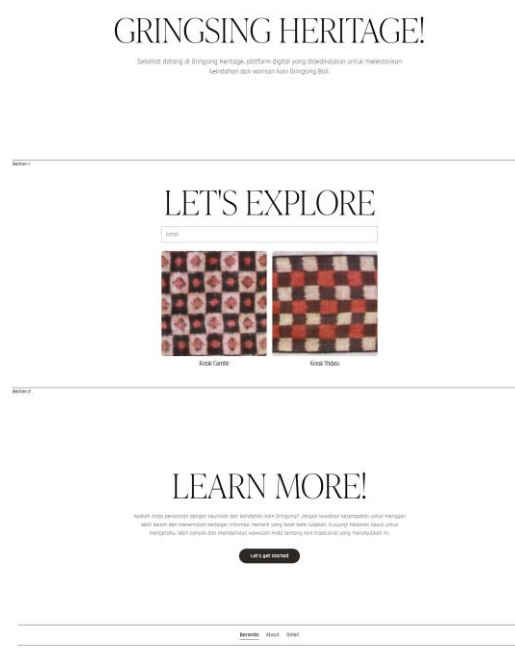


Gambar 3. Desain User Interface dari halaman Home dan Galeri

b. Pembangunan Sistem

Pada tahap ini, akan dijelaskan penerapan sistem pencarian berbasis kata kunci dan pencarian terfilter untuk informasi mengenai kain Gringsing dengan menggunakan metode Prototyping. Implementasi sistem ini diuraikan sesuai dengan langkah-langkah yang telah ditetapkan sebelumnya. Sistem ini hanya memiliki satu jenis pengguna, yaitu guest user, yang dapat mencari dan menelusuri informasi dalam aplikasi.

Dalam pengembangan situs web berbasis ontologi, diperlukan sebuah server untuk mengelola data yang terdapat pada ontologi. Server yang digunakan untuk pengelolaan ontologi disebut Apache Jena Fuseki. Setelah ontologi diunggah ke server Apache Jena Fuseki, langkah berikutnya adalah menghubungkan server tersebut dengan kode sumber situs web yang akan digunakan.



Gambar 4. Antarmuka Halaman Utama (*Keyword-Based Search*)

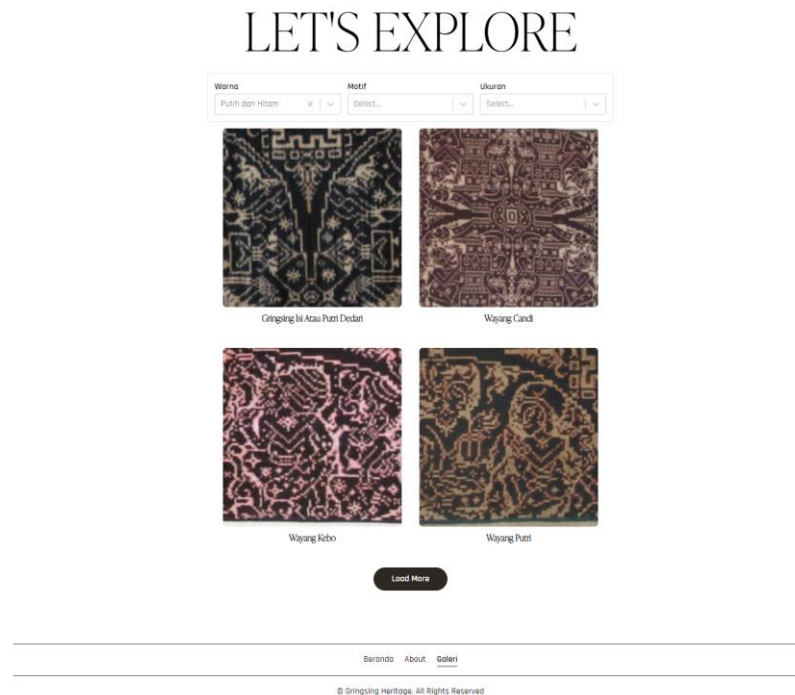
Pada Gambar 4 merupakan implementasi halaman utama sistem (Beranda). Pada halaman ini sistem akan menampilkan welcome page. Kemudian setelah itu akan ada

fitur pencarian (*Keyword-Based Search*), dan juga hyperlink yang akan menuju pada halaman about.



Gambar 5. Antarmuka Halaman *About*

Pada Gambar 5 merupakan implementasi pada halaman about. Halaman ini bertujuan untuk memberikan informasi mendalam tentang kain Gringsing, meliputi sejarah dan perkembangannya, proses pembuatan, serta variasi warna dan motif. Struktur halaman terdiri dari beberapa bagian penting: pengenalan tentang kain Gringsing, rincian sejarah dan perkembangan, proses pembuatan kain secara detail, dan deskripsi berbagai warna serta motif yang ada. Desain halaman ini diatur secara sistematis untuk memudahkan pengguna dalam mengakses informasi yang diinginkan, dengan penekanan pada aspek edukatif dan informatif mengenai warisan budaya Gringsing.



Gambar 6. Antarmuka Halaman *filtered serch*

Pada Gambar 6 merupakan implementasi pada halaman about. Halaman ini bertujuan untuk memberikan informasi mendalam tentang kain Gringsing, meliputi sejarah dan perkembangannya, proses pembuatan, serta variasi warna dan motif. Struktur halaman terdiri dari beberapa bagian penting: pengenalan tentang kain Gringsing, rincian sejarah dan perkembangan, proses pembuatan kain secara detail, dan deskripsi berbagai warna serta motif yang ada. Desain halaman ini diatur secara sistematis untuk memudahkan pengguna dalam mengakses informasi yang diinginkan, dengan penekanan pada aspek edukatif dan informatif mengenai warisan budaya Gringsing.

3.2 Implementasi Pengujian dan Evaluasi Sistem

Pada pengujian aplikasi Gringsing Heritage, digunakan dua metode pengujian, yaitu Blackbox Testing dan Technology Acceptance Model (TAM). Responden yang diambil adalah mahasiswa Program Studi Informatika Fakultas MIPA Universitas Udayana. Pengujian dilakukan dengan jumlah peserta 30 orang.

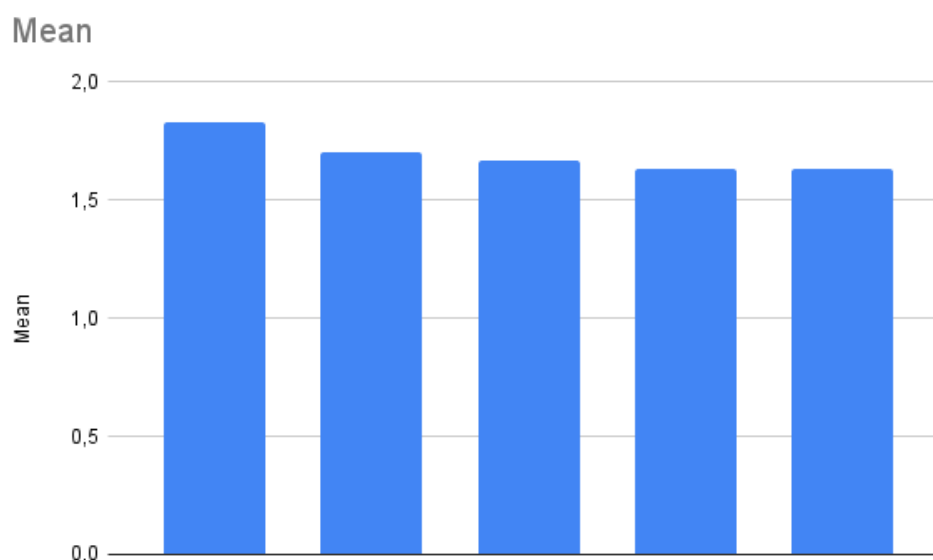
- a. Pengujian Blackbox Testing
 1. Fitur *Filtered Search*

Tabel 1. Persentase Jawaban Pengujian Fitur Filtered Search

| Penilaian | Jumlah | |
|----------------|-------------|--------|
| | Total Nilai | Persen |
| Salah | 12 | 8% |
| Sebagian benar | 18 | 12% |
| Benar | 120 | 80% |
| Total | 150 | 100% |

| Statistik | | | | | | |
|------------|-------|-----|-------|-------|-------|-------------|
| Pertanyaan | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Keseluruhan |
| Mean | 1.833 | 1.7 | 1.667 | 1.633 | 1.633 | 1.733 |
| Median | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Minimum | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Maximum | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |

Pengujian pemahaman sistem dilakukan dengan mengumpulkan jawaban dari responden melalui survei yang menguji fungsionalitas sistem. Penilaian dilakukan dengan memberikan nilai 0 untuk jawaban yang salah, 1 untuk jawaban yang sebagian benar, dan 2 untuk jawaban yang sepenuhnya benar. Hasil pengujian fitur Filtered Search ditunjukkan dalam Tabel 1, yang mengindikasikan bahwa 80% dari jawaban responden sepenuhnya benar, 12% sebagian benar, dan 8% salah. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa sebagian besar peserta pengujian memberikan jawaban yang benar untuk fitur ini. Tabel 1 menunjukkan statistik pengolahan data pengujian fitur Filtered Search, dengan rata-rata nilai (mean) keseluruhan sebesar 1,733, yang setara dengan 84,5% dan mengindikasikan kategori bagus. Nilai tengah (median) sebesar 2 menunjukkan bahwa jawaban sebagian besar responden sepenuhnya benar. Nilai terkecil (minimum) dan terbesar (maximum) masing-masing adalah 0 dan 2, menunjukkan variasi dalam jawaban dari sepenuhnya salah hingga sepenuhnya benar.



Gambar 7. Antarmuka Halaman *filtered serch*

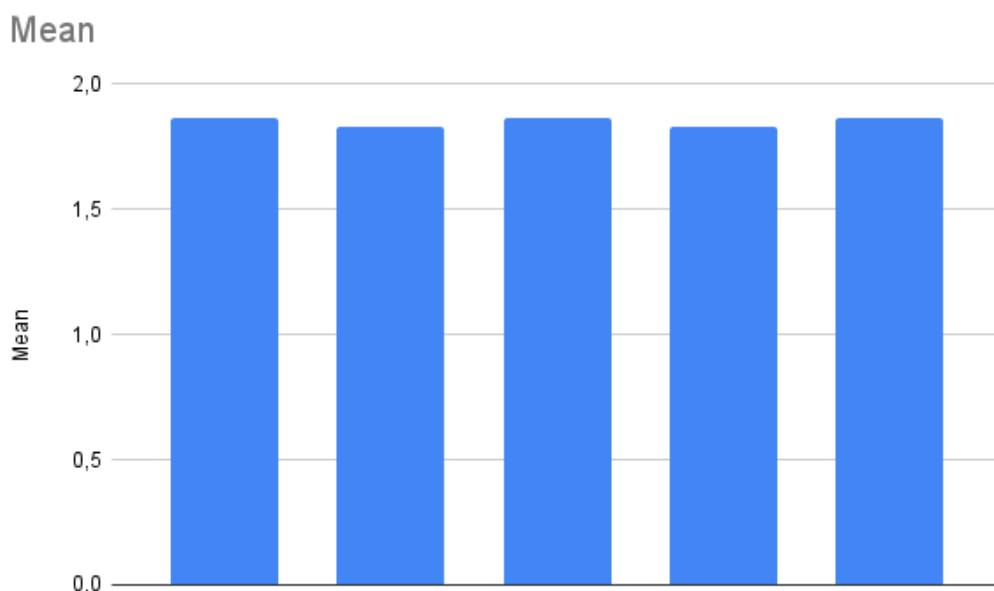
Grafik pada Gambar 7 mengilustrasikan bahwa pertanyaan pertama memiliki rata-rata nilai tertinggi, yakni 1,833, menunjukkan tingkat kebenaran yang paling tinggi di antara semua pertanyaan. Sebaliknya, pertanyaan keempat dan kelima memiliki rata-rata nilai terendah, yaitu 1,633, menunjukkan tingkat kebenaran yang relatif lebih rendah. Analisis ini memberikan gambaran mendetail mengenai pemahaman responden terhadap fitur Filtered Search dan membantu mengevaluasi efektivitas serta akurasi fitur tersebut dalam sistem.

2. Pengujian Fitur *Keyword-Based Search*

Tabel 2. Persentase Jawaban Pengujian Fitur Filtered Search

| Penilaian | Jumlah | | | | | |
|----------------|-------------|-------|-------|--------|-------|-------------|
| | Total Nilai | | | Persen | | |
| Salah | 5 | | | 3,5% | | |
| Sebagian benar | 10 | | | 6,5% | | |
| Benar | 135 | | | 90% | | |
| Total | 150 | | | 100% | | |
| Statistik | | | | | | |
| Pertanyaan | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Keseluruhan |
| Mean | 1,867 | 1,833 | 1,867 | 1,833 | 1,867 | 1,867 |
| Median | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Minimum | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 |
| Maximum | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |

Pengujian fitur Keyword-Based Search menunjukkan hasil yang sangat positif, sebagaimana tertera pada Tabel 2. Persentase jawaban yang benar mencapai 90%, dengan hanya 3,5% jawaban salah dan 6,5% jawaban sebagian benar. Data ini menunjukkan bahwa sebagian besar peserta pengujian memberikan jawaban yang benar untuk fitur ini. Analisis statistik yang disajikan dalam Tabel 3 menunjukkan bahwa nilai rata-rata (mean) dari jawaban responden adalah 1,867, yang setara dengan 93,35% dan mengindikasikan bahwa jawaban rata-rata sepenuhnya benar, sehingga termasuk dalam kategori bagus. Nilai tengah (median) juga menunjukkan 2, menegaskan bahwa jawaban sebagian besar responden sepenuhnya benar. Nilai terkecil (minimum) adalah 0, yang menunjukkan adanya beberapa jawaban yang salah, sedangkan nilai terbesar (maximum) adalah 2, menandakan jawaban yang sepenuhnya benar.



Gambar 8. Antarmuka Halaman *filtered serch*

Grafik pada Gambar 8 memperlihatkan bahwa pertanyaan pertama, ketiga, dan kelima memiliki rata-rata nilai tertinggi sebesar 1,867, menunjukkan tingkat kebenaran yang paling tinggi dari semua pertanyaan. Sebaliknya, pertanyaan kedua dan keempat memiliki rata-rata nilai terendah, yaitu 1,833, menunjukkan tingkat kebenaran yang relatif lebih rendah di antara semua pertanyaan. Analisis ini memberikan gambaran yang jelas mengenai pemahaman responden terhadap fitur Keyword-Based Search dan menilai efektivitas serta akurasi fitur dalam sistem.

b. Pengujian Technology Acceptance Model (TAM)

Pada tahapan evaluasi sistem yang menggunakan metode TAM, penilaian dilakukan berdasarkan kemudahan penggunaan dan kegunaan sistem, dengan skala Likert dari 1 (Sangat tidak setuju) hingga 5 (Sangat setuju). Data dikumpulkan dan dianalisis dengan menggunakan Microsoft Excel untuk menghitung nilai rata-rata (mean), nilai tengah (median), nilai terkecil (minimum), dan nilai terbesar (maximum).

Untuk evaluasi kemudahan penggunaan, hasil menunjukkan bahwa 37% responden memberikan penilaian "Sangat setuju," 34% "Setuju," dan 29% "Netral." Nilai rata-rata dari keseluruhan pertanyaan adalah 4,08, yang setara dengan 81,6% dan menunjukkan bahwa secara umum responden merasa sistem mudah digunakan. Nilai median adalah 4, menandakan bahwa sebagian besar responden cenderung setuju bahwa sistem ini mudah digunakan. Nilai terkecil dan terbesar dalam skala Likert adalah 3 (Netral) dan 5 (Sangat Setuju), menunjukkan variasi dalam penilaian kemudahan.

Untuk evaluasi kegunaan sistem, 44% responden menilai "Setuju" dan 29% "Sangat setuju," sementara 27% memberikan penilaian "Netral." Nilai rata-rata keseluruhan adalah 4,02, yang setara dengan 80,4% dan mengindikasikan bahwa responden merasa sistem bermanfaat dan berguna dalam pekerjaan mereka. Nilai median adalah 4, yang menunjukkan bahwa sebagian besar responden setuju dengan kegunaan sistem. Nilai terkecil dan terbesar masing-masing adalah 3 (Netral) dan 5 (Sangat Setuju), menggambarkan rentang penilaian terhadap kegunaan sistem.

Secara keseluruhan, analisis ini menunjukkan bahwa sistem yang dibangun dinilai baik dalam hal kemudahan penggunaan dan kegunaan oleh para responden, dengan hasil yang menunjukkan kepuasan yang tinggi dan penerimaan yang positif terhadap sistem tersebut.

4. Kesimpulan

Model ontologi kain Gringsing berhasil diimplementasikan menggunakan metode Methontology, yang meliputi tahapan spesifikasi, akuisisi pengetahuan, konseptualisasi, integrasi, implementasi, evaluasi, dan dokumentasi. Setiap tahapan ini dirancang untuk memastikan bahwa ontologi yang dihasilkan tidak hanya akurat dan lengkap, tetapi juga fleksibel untuk integrasi dan pengembangan lebih lanjut. Penerapan metode Prototyping dalam pembangunan dan pengembangan sistem Representasi Digital kain Gringsing juga menunjukkan keberhasilan. Sistem yang dikembangkan mampu memenuhi kebutuhan fungsional yang diidentifikasi pada setiap tahapan metode Prototyping. Pengujian fungsionalitas sistem yang melibatkan 30 responden menunjukkan hasil yang positif, dengan tingkat pemahaman responden terhadap fitur penjelajahan (Filtered Search) mencapai 84,5% dan fitur pencarian (Keyword-Based Search) mencapai 93,35%. Angka-angka ini menunjukkan bahwa kedua fitur sistem bekerja dengan baik dan akurat, dengan mayoritas responden dapat menjawab pertanyaan terkait fitur penjelajahan dan pencarian dengan benar. Selain itu, evaluasi terhadap sistem menunjukkan bahwa responden menilai sistem ini sebagai alat yang mudah digunakan dan berguna, dengan nilai rata-rata persepsi kemudahan penggunaan sebesar 4,08 dan persepsi kegunaan sebesar 4,02. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem yang dikembangkan tidak hanya fungsional tetapi juga memiliki tingkat kegunaan yang tinggi, sehingga dapat membantu pengguna dalam mengakses dan memanfaatkan informasi mengenai kain Gringsing dengan lebih efisien.

Referensi

- [1] Sukawati, N. K. S. A. (2020). Tenun Gringsing Teknik Produksi, Motif Dan Makna Simbolik. *Jurnal Ilmiah Vastuwidya*, 3(1), 60-81.
- [2] Pramatha, C. R. A. (2018). Assembly the Semantic Cultural Heritage Knowledge. *Jurnal Ilmu Komputer*, 11(2), 83-95.
- [3] Pramatha, C., Koten, I., Putra, I. G. N. A. C., Supriana, I. W., & Arka, I. W. (2022). Pengembangan Sistem Dokumentasi Melalui Pendekatan Ontologi untuk Praktek Budaya Bali. *Jurnal Nasional Pendidikan Teknik Informatika: JANAPATI*, 11(3), 259-268.
- [4] Nugroho, P. I., Priyambadha, B., & Setiawan, N. Y. (2018). Rancang Bangun Sistem Pencarian Koleksi Laporan Skripsi Dan PKL dengan Teknologi Web Semantik (Studi Kasus: Ruang Baca Fakultas Ilmu Komputer Universitas Brawijaya). *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer e-ISSN*, 2548, 964X.
- [5] Mutawalli, L., Suhriani, I. F., & Supardianto, S. (2018). Implementasi SPARQL dengan framework Jena Fuseki untuk melakukan pencarian pengetahuan pada model ontologi jalur klinis tata laksana perawatan penyakit katarak. *Jurnal Informatika dan Rekayasa Elektronik*, 1(2), 68-75.
- [6] Novianti, K. D. P. (2016). Implementasi Methontology untuk Pembangunan Model Ontologi Program Studi Pada Perguruan Tinggi di Bali. *Jurnal Teknoif Teknik Informatika Institut Teknologi Padang*, 4(1), 40-47.
- [7] Badron, Y. F., Agus, F., & Hatta, H. R. (2017). Studi Tentang Pemodelan Ontologi Web Semantik Dan Prospek Penerapan Pada Bibliografi Artikel Jurnal Ilmiah. In *dalam Prosiding Seminar Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, Samarinda*.
- [8] Nugroho, P. I., Priyambadha, B., & Setiawan, N. Y. (2018). Rancang Bangun Sistem Pencarian Koleksi Laporan Skripsi Dan PKL dengan Teknologi Web Semantik (Studi Kasus: Ruang Baca Fakultas Ilmu Komputer Universitas Brawijaya). *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer e-ISSN*, 2548, 964X.
- [9] Yani, E., Lestari, A. F., Amalia, H., & Puspita, A. (2018). Pengaruh internet banking terhadap minat nasabah dalam bertransaksi dengan technology acceptance model. *Jurnal Informatika*, 5(1), 34-42.
- [10] Sarasvananda, I. B. G., Nugraha, P. G. S. C., & Iswara, I. B. A. I. (2023). The Balinese Lontar Manuscript Metadata Model: An Ontology-Based Approach. *Jurnal Multidisiplin Madani*, 3(9), 1964-1971.
- [11] Sujaini, H., Perwitasari, A., & Januardi, T. (2023). Sistem Pembelajaran Algoritma Best First Search, Breadth First Search & Depth First Search. *Jurnal Teknik Indonesia*, 2(2), 65-78.
- [12] Pramatha, C., Koten, I., Putra, I. ., Supriana, I. W., & Arka, I. W. (2022). Pengembangan Sistem Dokumentasi Melalui Pendekatan Ontologi untuk Praktek Budaya Bali. *Jurnal Nasional Pendidikan Teknik Informatika : JANAPATI*, 11(3), 259–268.

This page is intentionally left blank.

Penerapan Metode Least Significant Bit Dalam Perlindungan Hak Cipta Pada Kain Cepuk

Made Yayang Eka Prananda^{a1} | Gusti Agung Gede Arya Kadyanan^{a2}, I Gusti Ngurah Anom Cahyadi
Putra^{a3}, I Ketut Gede Suhartana^{a4}

^aProgram Studi Informatika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana
Kuta Selatan, Badung, Bali, Indonesia

¹yayangp32@gmail.com

²gungde@unud.ac.id

³anom.cp@unud.ac.id

⁴ikg.suhartana@unud.ac.id

Abstract

Cepuk cloth is one of the typical crafts of Tanglad Village, Nusa Penida District, Klungkung Regency, Bali, which comes from ancestors and is passed down from generation to generation. Cepuk cloth also supports tourist attractions in Nusa Penida which need development and preservation such as digitalization. However, digitalization will add new problems in terms of ownership. Therefore, the author wants to conduct research that is used to build a website-based application by inserting valid proof of ownership using a digital signature, namely a Quick Response (QR) code. Proof of ownership will be encrypted using the Advanced Encryption Standard (AES) cryptographic algorithm before being used as a digital signature. Meanwhile, the insertion method uses the LSB method. The research carried out was successful based on the results of computational testing in tests without attacks showing imperceptibility, there was no difference between the stego image and the original image, then fidelity obtained an average MSE value of 0.5 and PSNR 51 dB, the recovery results stated that the inserted embedded image was successfully extracted, and tests with attacks on robustness by manipulating or editing truncation, changing resolution and inversion have unextractable results. Meanwhile, the rotation of the stego image can be maintained and produces plaintext when extracted. Another measure of success is based on software testing using black box testing to find that the functional application works well and there are no problematic features.

Keywords: LSB, AES, QR Code, Copyright Protection, Cepuk Cloth

1. Pendahuluan

Kain cepuk adalah salah satu kerajinan khas Desa Tanglad, Kecamatan Nusa Penida, Kabupaten Klungkung, Bali, yang berasal dari nenek moyang dan diwariskan secara turun temurun. Nama kain tenun cepuk itu berasal dari bahasa Sanskerta, yakni cepuk yang artinya kayu canging. Kayu canging adalah jenis tumbuhan yang digunakan sebagai bahan dasar pembuatan kain tenun. Selain itu cepuk juga berasal dari kata tepuk yang berarti bertemu, dimana setiap motif yang ada dalam kain cepuk selalu saling bertemu, salah satunya membentuk geometris belah ketupat. Hal ini terkait dengan kisah Barong dan Rangda, yang dimana ilmu penengen bertemu ilmu pengiwa sehingga tercipta keseimbangan antara diri dan alam semesta. Kain cepuk juga menjadi penunjang tempat wisata di Nusa Penida yang perlu perkembangan dan pelestarian seperti digitalisasi.

Digitalisasi adalah proses mengubah media analog menjadi bentuk digital. Digitalisasi ini memudahkan setiap kalangan mengakses dan mengunduh desain kain cepuk sehingga kain ini dapat dikenal di berbagai penjuru. Namun hal ini menambah masalah baru dalam hal kepemilikan. Masyarakat desa Tanglad mengkhawatirkan motif desain kain Cepuk yang begitu beragam apabila didigitalisasi akan diakui ataupun di plagiat. Oleh sebab itu, dibutuhkanlah media untuk membantu melindungi hak cipta kepemilikan pada desain kain cepuk yang telah di digitalisasi.

Dalam pembuatannya, diperlukan teknik untuk melindungi kepemilikan hak cipta atas data tersebut, yaitu teknik steganografi. Steganografi adalah proses penyembunyian atau penyisipan informasi rahasia di dalam suatu media dengan cara yang tidak terdeteksi. Informasi rahasia (*embedded object*)

dan media penyisipan (*cover object*) yang digunakan merupakan tipe data bervariasi seperti teks, gambar, audio, dan video [5]. Salah satu metode steganografi adalah metode *Least Significant Bit* (LSB). Metode LSB memiliki kelebihan dalam mengamankan *embedded object* yaitu perubahan pada *cover object* sangat kecil, sehingga sulit untuk manusia mengetahuinya. Hal itu dikarenakan penyisipannya dilakukan pada bit terakhir dari nilai biner RGB (*red*, *green*, dan *blue*) *cover object* [4]. Metode LSB menyisipkan informasi ke dalam bit rendah atau paling kanan pada data pixel yang menyusun file tersebut dan format yang mempunyai nilai *bits redundancy* tinggi [1].

Berdasarkan permasalahan yang ada, penulis ingin melakukan penelitian yang digunakan untuk membangun sebuah aplikasi berbasis website dengan cara bukti kepemilikan yang sah disisipkan menggunakan tanda tangan digital. Tanda tangan digital adalah sarana otentikasi dan verifikasi identitas penanda tangan untuk melindungi informasi elektronik. Informasi elektronik yang dibagikan atau dikirimkan melalui media elektronik dapat dinyatakan sebagai persetujuan yang dikonfirmasi dalam bentuk tanda tangan digital dan bukan tanda tangan basah yang dipindai oleh mesin [2].

Salah satu bentuk tanda tangan digital yang sering digunakan adalah Quick Response (QR) Code. QR code terdiri dari latar belakang putih dengan pola kotak hitam dan berisi informasi dalam arah vertikal dan horizontal. QR code dapat berisi data numerik serta data dalam format ASCII [3]. Untuk meningkatkan keamanan, bukti kepemilikan akan dienkripsi menggunakan algoritma kriptografi *Advanced Encryption Standard* (AES) sebelum dijadikan tanda tangan digital. Sedangkan metode penyisipannya sendiri dengan metode LSB dikarenakan proses penyisipan dan ekstraksi yang cepat dan mudah.

2. Metode Penelitian

2.1. Pengumpulan Data

Data yang digunakan merupakan data primer yang dikumpulkan dengan menggunakan Teknik Observasi berupa dokumentasi. Pengambilan gambar kain Cepuk sebagai *cover image* dalam format *.png. Sedangkan data tanda tangan digital yang digunakan sebagai *embedded image*, diketik langsung di website dan akan di ubah menjadi QR Code. Pengambilan gambar kain Cepuk dilakukan di desa Tanglad, kecamatan Nusa Penida, kabupaten Klungkung. Untuk sumber data dari tanda tangan digital dilakukan dengan wawancara mengenai kepemilikan kain tersebut.

2.2. Variabel Penelitian

Variabel adalah segala sesuatu yang ingin diteliti oleh peneliti untuk memperoleh informasi dan menarik kesimpulan. Dalam penelitian ini, terdapat variabel bebas dan variabel terikat. Variabel-variabel tersebut dapat dijabarkan sebagai berikut

2.2.1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang dapat mempengaruhi hasil variabel lain apabila nilainya berubah. Variabel bebas dalam penelitian ini berupa jumlah kata yang diinput sebagai hak cipta.

2.2.2. Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah ukuran gambar *stego*.

2.3. Analisis Kebutuhan

Tahapan ini menganalisis persyaratan sistem, pengumpulan data dilakukan untuk menentukan kondisi dan fitur yang harus dimiliki sistem untuk memenuhi kebutuhan dan keinginan pengguna.

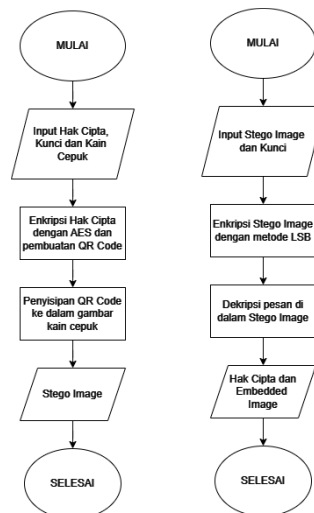
1. Website ini dapat melakukan proses enkripsi kalimat yang merupakan hak cipta.
2. Website ini dapat menyisipkan kalimat *chipertext* ke gambar.
3. Website ini dapat melakukan ekstraksi gambar yang telah disisipkan QR Code dan membacanya.
4. Website ini dapat mendekripsi *chipertext*.

2.4. Desain Perancangan Sistem

Gambar 1 menjelaskan bahwa sistem akan berjalan dengan proses sebagai berikut :

1. *User* menginput hak cipta berupa kalimat, kunci untuk enkripsi dan gambar *cover image* yang akan di-enkripsi.
2. Sistem akan mengenkripsi hak cipta dengan kriptografi AES lalu akan diubah menjadi QR Code.
3. QR Code (file) dari *chipertext* kemudian disisipkan ke dalam *cover image* (*embed*) dan menyimpan gambar yang sudah disisipkan pesan (*stego image*).
4. Untuk mengambil pesan asli (hak cipta), yaitu dengan cara mengekstraksi pesan dalam gambar. *User* akan menginput kunci dan *stego image* kemudian sistem melakukan ekstraksi sehingga QR Code yang berisi *chipertext* dapat diambil.

5. *Chipertext* tersebut akan di-dekripsi dengan AES sehingga *plaintext* yang berupa pesan hak cipta didapatkan.

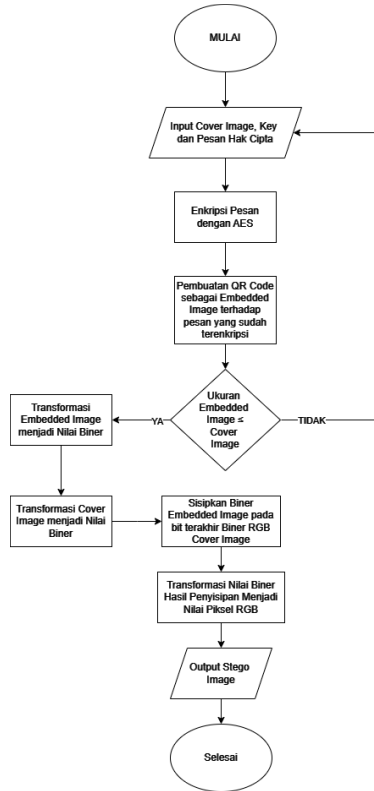


Gambar 1. Skema Umum Jalannya Sistem

2.4.1. Rancangan Komputasi Aplikasi

a. Enkripsi dan Penyisipan

Flowchart pada gambar 2 merupakan alur secara umum dari proses Enkripsi dan Penyisipan, dimulai dengan *user* menginputkan Gambar Kain Cepuk (*Cover Image*), Kunci dan Hak Cipta. Sistem akan melakukan enkripsi pada Hak Cipta dengan menggunakan kriptografi *Advanced Encryption Standard* (AES) dan langsung mengubahnya dalam bentuk *QR Code* sebagai *Embedded Image*. Sistem akan mengecek apakah ukuran *embedded image* kurang dari atau sama dengan *cover image*. Jika tidak, sistem akan kembali untuk melakukannya penginputan dari awal. Jika iya, *embedded image* dan *cover image* akan ditransformasi menjadi nilai Biner. Setelah itu nilai biner dari *embedded image* akan disisipkan ke dalam bit terakhir Biner RGB dari *cover image*. Nilai Biner hasil penyisipan akan ditransformasi kembali menjadi nilai piksel RGB. Setelah proses selesai, sistem akan mengeluarkan *output* berupa Gambar yang telah berisi pesan hak cipta (*Stego Image*).



Gambar 2. Flowchart Proses Penyisipan

b. Ekstraksi dan Dekripsi

Flowchart pada gambar 3 merupakan alur secara umum dari proses Ekstraksi dan Dekripsi, dimulai dengan *user* menginputkan *stego image* dan kunci. Sistem akan melakukan transformasi *stego image* menjadi nilai biner lalu melakukan ekstraksi pada bit terakhir biner RGB. Hasil dari ekstraksi tersebut akan ditransformasi menjadi nilai piksel RGB yang dimana berupa QR Code. QR Code tersebut akan langsung di *scan* dan hasilnya yang berupa *chiphertext* akan didekripsi menggunakan kriptografi AES. *Plaintext* tersebut merupakan pesan hak cipta.




Gambar 3. Flowchart Proses Ekstraksi

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Data Penelitian

Data penelitian yang digunakan adalah gambar Kain Cepuk sebagai *cover image* dan tanda tangan digital yang nantinya akan di ubah menjadi QR Code sebagai *embedded image*. Pada penelitian dan pengujian yang dilakukan, proses *encode* atau penyisipan tanda tangan digital pada gambar Kain Cepuk berdasarkan kepemilikannya. Lalu pada proses *decode* atau ekstraksi gambar hasil penyisipan atau *stego image* yang tampak seperti *cover image* atau gambar Kain Cepuk aslinya, akan diekstrak dan menghasilkan tanda tangan digital yang telah disisipkan sebelumnya.

Table 1. Data Kain Cepuk

| Gambar Kain Cepuk | Identitas Kain Cepuk | |
|---|----------------------|------------------------------------|
|  | Judul | Kain Cepuk Kecubung 2 |
| | Kepemilikan | Desa Tanglad Kecamatan Nusa Penida |
| | Ukuran | 2,54 MB |
| | Resolusi | 1170 x 2080 |
| | Ekstensi | .png |

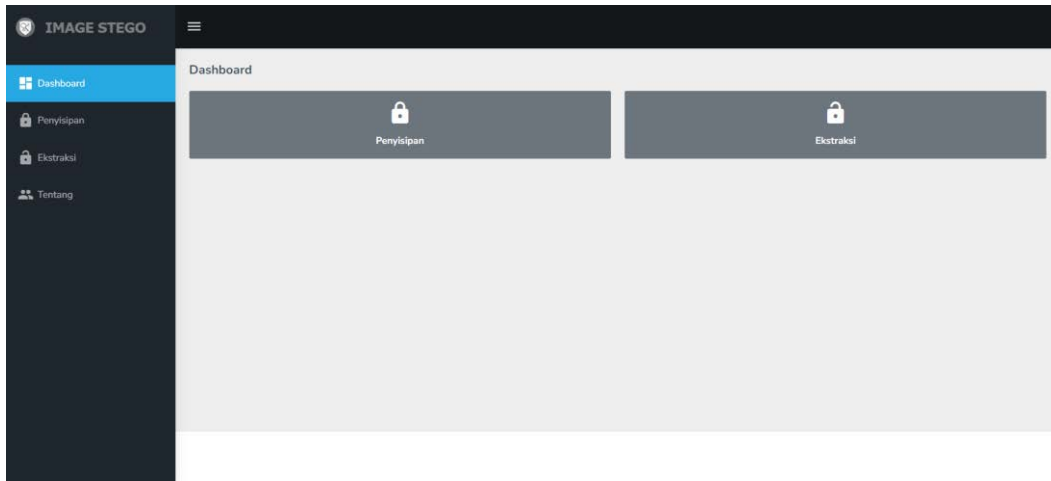
| | | |
|---|-------------|------------------------------------|
|  | Judul | Kain Cepuk Kurung 1 |
| | Kepemilikan | Desa Tanglad Kecamatan Nusa Penida |
| | Ukuran | 3,52 MB |
| | Resolusi | 1512 x 2016 |
| | Ekstensi | .png |
|  | Judul | Kain Cepuk Kurung 2 |
| | Kepemilikan | Desa Tanglad Kecamatan Nusa Penida |
| | Ukuran | 4,16 MB |
| | Resolusi | 1512 x 2016 |
| | Ekstensi | .png |

3.2. Implementasi Sistem

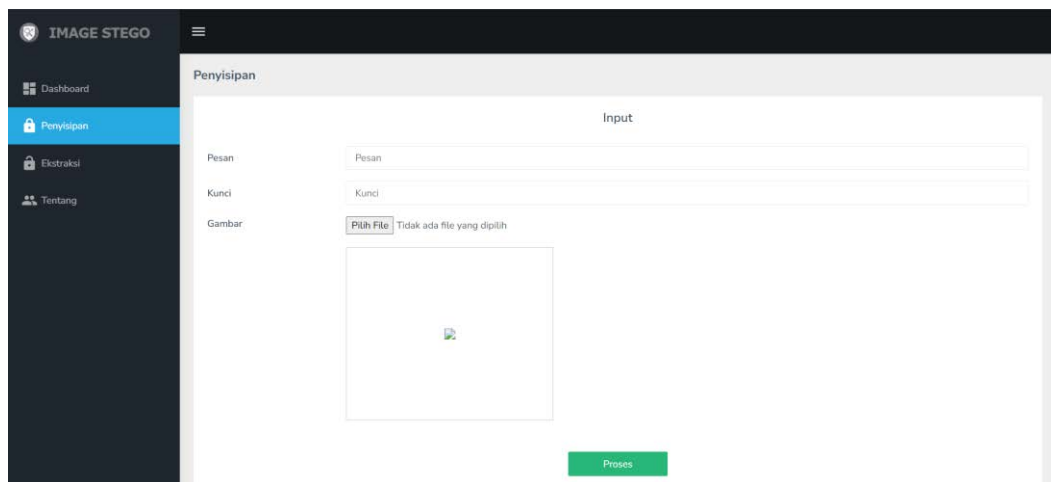
Hasil implementasi perangkat lunak berupa website dengan proses sesuai pada rancangan yang dibangun dengan beberapa penambahan halaman untuk menyesuaikan dengan kebutuhan yang digunakan. Antarmuka aplikasi dibagi menjadi beberapa bagian halaman yaitu Halaman utama, Halaman penyisipan, Halaman hasil penyisipan, Halaman ekstrasi, Halaman hasil ekstrasi dan Halaman Tentang.

Gambar 4 menampilkan halaman utama yang berisi beberapa opsi seperti penyisipan, ekstrasi dan tentang. Apabila user ingin melakukan penyisipan hak cipta, *user* dapat memilih opsi “Penyisipan”. Apabila *user* ingin melakukan ekstrasi hak cipta kepada gambar desain kain cepuk, *user* dapat memilih opsi “Ekstrasi”. Apabila *user* ingin mengetahui mengenai penjelasan mengenai *website*, *user* dapat memilih opsi “Tentang”. Pada gambar 5 menampilkan halaman penyisipan, *user* akan diminta menginputkan pesan hak cipta, kunci dan gambar desain kain cepuk. Gambar 6 menampilkan *output* yang dihasilkan pada proses penyisipan, dimana *user* dapat mengunduh *stego image* yang merupakan gambar desain kain cepuk yang telah disisipkan pesan hak cipta.

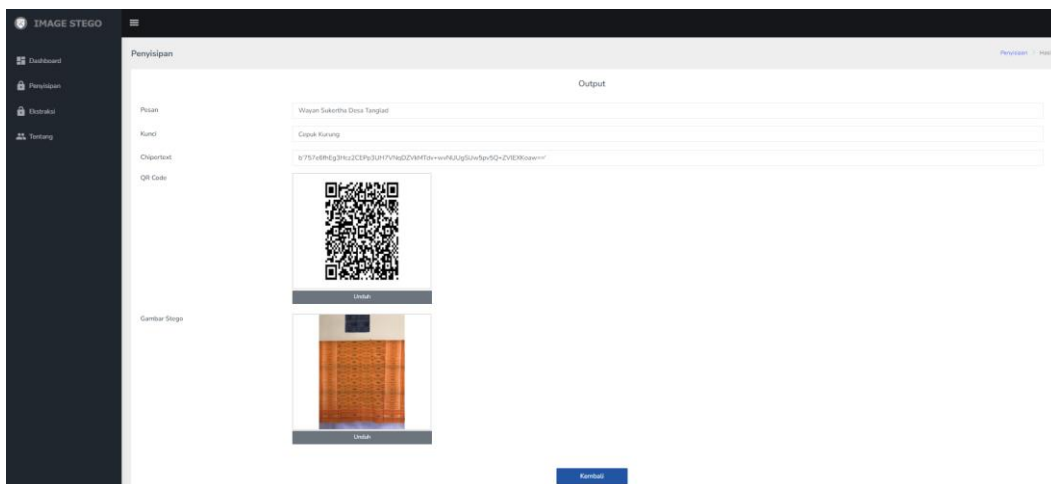
Pada gambar 7 menampilkan halaman ekstrasi, yang dapat digunakan *user* ketika ingin melakukan ekstrasi pada *stego image*, disana *user* diminta untuk menginputkan kunci dan juga *stego image*. Hasil dari proses ekstrasi dapat dilihat di gambar 8, dimana sistem akan menampilkan hasil ekstrasi berupa QR Code, *chipertext* hasil pembacaan QR Code dan *plaintext* yang merupakan pesan hak cipta. Untuk gambar 9 menampilkan identitas sistem dan penjelasan singkat mengenai opsi-opsi yang tersedia di dalam sistem.



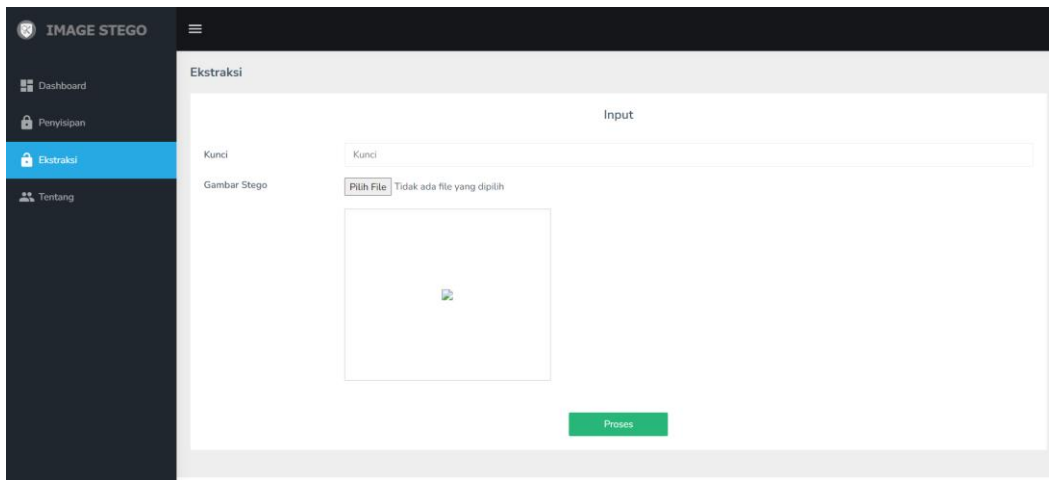
Gambar 4. Halaman Utama



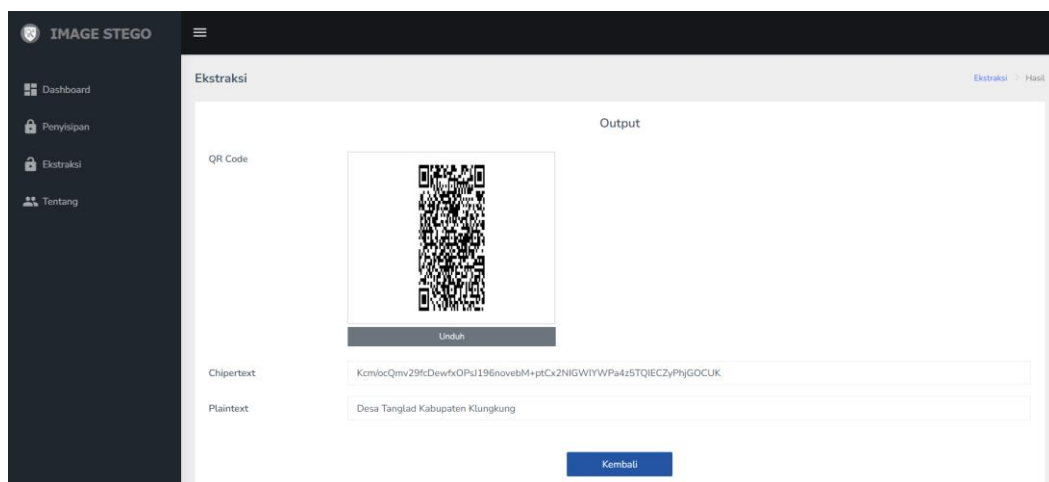
Gambar 5. Halaman Penyisipan



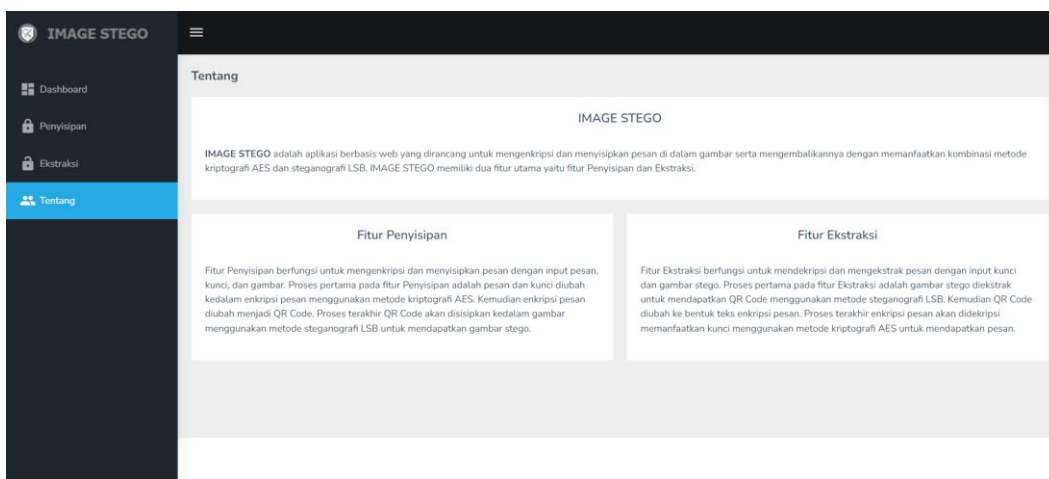
Gambar 6. Halaman Hasil Penyisipan



Gambar 7. Halaman Ekstraksi



Gambar 8. Halaman Hasil Ekstraksi



Gambar 9. Halaman Tentang

3.3. Pengujian Sistem

3.3.1. Pengujian Komputasi

a. Imperceptibility

Pengujian *imperceptibility* dilakukan dengan cara menyebarkan kuesioner perbedaan gambar asli dan *stego image*. Hasil kuesioner dari 20 responden dan telah dirangkum tanggapannya pada tabel 1.

Tabel 2. Kuesioner Uji *Imperceptibility*

| No | Judul Gambar Desain Kain Cepuk | Jawaban | | Persentase | |
|----|--------------------------------|---------|-------|------------|-------|
| | | Ya | Tidak | Ya | Tidak |
| 1 | Cepuk Kecubung 1 | 2 | 18 | 10 | 90 |
| 2 | Cepuk Kecubung 2 | 2 | 18 | 10 | 90 |
| 3 | Cepuk Kurung 1 | 1 | 19 | 5 | 95 |
| 4 | Cepuk Kurung 2 | 3 | 17 | 15 | 85 |
| 5 | Cepuk Liking Paku 1 | 3 | 17 | 15 | 85 |
| 6 | Cepuk Liking Paku 2 | 2 | 18 | 10 | 90 |
| 7 | Cepuk Mekawis 1 | 3 | 17 | 15 | 85 |
| 8 | Cepuk Mekawis 2 | 2 | 18 | 10 | 90 |
| 9 | Cepuk Sudamala 1 | 1 | 19 | 5 | 95 |
| 10 | Cepuk Sudamala 2 | 1 | 19 | 5 | 95 |
| 11 | Cepuk Tangi Gede 1 | 1 | 19 | 5 | 95 |
| 12 | Cepuk Tangi Gede 2 | 2 | 18 | 10 | 90 |

b. *Fidelity*

Hasil dari pengujian *fidelity* terdapat pada tabel 2 dimana memiliki hasil yang hampir sama yaitu rata-rata nilai MSE 0,5 dan rata-rata nilai PSNR 51 dB. Dari hasil nilai tersebut dapat disimpulkan bahwa nilainya cukup baik karena nilai MSE kurang dari 0,6 dan pada PSNR memiliki nilai lebih dari 30 dB.

Tabel 3. Pengujian *Fidelity*

| No | Judul Gambar Desain Kain Cepuk | Key | MSE | PSNR |
|----|--------------------------------|-------------------|---------|-------------|
| 1 | Cepuk Kecubung 1 | cepuk kecubung | 0.51489 | 51.01364 dB |
| 2 | Cepuk Kecubung 2 | cepuk kecubung | 0.49946 | 51.14579 dB |
| 3 | Cepuk Kurung 1 | cepuk kurung | 0.43794 | 51.71666 dB |
| 4 | Cepuk Kurung 2 | cepuk kurung | 0.49876 | 51.15192 dB |
| 5 | Cepuk Liking Paku 1 | cepuk liking paku | 0.50042 | 51.13745 dB |
| 6 | Cepuk Liking Paku 2 | cepuk liking paku | 0.49935 | 51.13745 dB |
| 7 | Cepuk Mekawis 1 | cepuk mekawis | 0.49936 | 51.14668 dB |
| 8 | Cepuk Mekawis 2 | cepuk mekawis | 0.49919 | 51.14808 dB |
| 9 | Cepuk Sudamala 1 | cepuk sudamala | 0.49898 | 51.14999 dB |
| 10 | Cepuk Sudamala 2 | cepuk sudamala | 0.49945 | 51.14587 dB |
| 11 | Cepuk Tangi Gede 1 | cepuk tangi gede | 0.48819 | 51.24488 dB |
| 12 | Cepuk Tangi Gede 2 | cepuk tangi gede | 0.50001 | 51.14101 dB |

c. *Recovery*

Hasil pengujian *recovery* yaitu berhasil dilakukan ekstrak pada *stego image* menggunakan kunci yang sama. Hasilnya dipaparkan pada tabel 3.

Tabel 4. Pengujian *Recovery*

| No | Judul Gambar Desain Kain Cepuk | Key | Hasil Ekstrasi | Status |
|----|--------------------------------|-------------------|----------------------------------|----------|
| 1 | Cepuk Kecubung 1 | cepuk kecubung | Desa Tanglad Kabupaten Klungkung | Berhasil |
| 2 | Cepuk Kecubung 2 | cepuk kecubung | Desa Tanglad Kabupaten Klungkung | Berhasil |
| 3 | Cepuk Kurung 1 | cepuk kurung | Gede Diari Desa Tanglad | Berhasil |
| 4 | Cepuk Kurung 2 | cepuk kurung | Wayan Sukertha Desa Tanglad | Berhasil |
| 5 | Cepuk Liking Paku 1 | cepuk liking paku | Desa Tanglad Kabupaten Klungkung | Berhasil |
| 6 | Cepuk Liking Paku 2 | cepuk liking paku | Desa Tanglad Kabupaten Klungkung | Berhasil |

| | | | | |
|----|--------------------|------------------|----------------------------------|----------|
| 7 | Cepuk Mekawis 1 | cepuk mekawis | Desa Tanglad Kabupaten Klungkung | Berhasil |
| 8 | Cepuk Mekawis 2 | cepuk mekawis | Desa Tanglad Kabupaten Klungkung | Berhasil |
| 9 | Cepuk Sudamala 1 | cepuk sudamala | Desa Tanglad Kabupaten Klungkung | Berhasil |
| 10 | Cepuk Sudamala 2 | cepuk sudamala | Desa Tanglad Kabupaten Klungkung | Berhasil |
| 11 | Cepuk Tangi Gede 1 | cepuk tangi gede | Desa Tanglad Kabupaten Klungkung | Berhasil |
| 12 | Cepuk Tangi Gede 2 | cepuk tangi gede | Desa Tanglad Kabupaten Klungkung | Berhasil |

d. Pengujian dengan Serangan

Pengujian dengan serangan dilakukan dengan pengujian *robustness* yang merupakan salah satu dari kriteria *steganografi*. Uji ketahanan dilakukan dengan memanipulasi atau mengedit *stego image* untuk mengetahui keawetan dan keberhasilan *image* yang disematkan saat diekstraksi. Untuk hasil pengujian pemotongan (*cropping*) terdapat pada tabel 4, pengujian mengubah resolusi (*resizing*) terdapat pada tabel 5, pengujian pembalikan (*flipping*) terdapat pada tabel 6 dan pengujian rotasi (*rotation*) terdapat pada tabel 7.

Tabel 5. Pengujian Cropping

| No | Judul Stego Image | Kunci | Proses Ekstraksi |
|----|---------------------|-------------------|------------------|
| 1 | Cepuk Kecubung 1 | cepuk kecubung | Gagal |
| 2 | Cepuk Kecubung 2 | cepuk kecubung | Gagal |
| 3 | Cepuk Kurung 1 | cepuk kurung | Gagal |
| 4 | Cepuk Kurung 2 | cepuk kurung | Gagal |
| 5 | Cepuk Liking Paku 1 | cepuk liking paku | Gagal |
| 6 | Cepuk Liking Paku 2 | cepuk liking paku | Gagal |
| 7 | Cepuk Mekawis 1 | cepuk mekawis | Gagal |
| 8 | Cepuk Mekawis 2 | cepuk mekawis | Gagal |
| 9 | Cepuk Sudamala 1 | cepuk sudamala | Gagal |
| 10 | Cepuk Sudamala 2 | cepuk sudamala | Gagal |
| 11 | Cepuk Tangi Gede 1 | cepuk tangi gede | Gagal |
| 12 | Cepuk Tangi Gede 2 | cepuk tangi gede | Gagal |

Tabel 6. Pengujian Resizing

| No | Judul Stego Image | Ukuran Resolusi | | Kunci | Proses Ekstraksi |
|----|---------------------|-----------------|------------|-------------------|------------------|
| | | Sebelum | Sesudah | | |
| 1 | Cepuk Kecubung 1 | 1512 x 2016 | 756 x 1008 | cepuk kecubung | Gagal |
| 2 | Cepuk Kecubung 2 | 1170 x 2080 | 585 x 1040 | cepuk kecubung | Gagal |
| 3 | Cepuk Kurung 1 | 1512 x 2016 | 756 x 1008 | cepuk kurung | Gagal |
| 4 | Cepuk Kurung 2 | 1512 x 2016 | 756 x 1008 | cepuk kurung | Gagal |
| 5 | Cepuk Liking Paku 1 | 1512 x 2016 | 756 x 1008 | cepuk liking paku | Gagal |
| 6 | Cepuk Liking Paku 2 | 1224 x 1632 | 612 x 816 | cepuk liking paku | Gagal |
| 7 | Cepuk Mekawis 1 | 1337 x 1933 | 669 x 967 | cepuk mekawis | Gagal |
| 8 | Cepuk Mekawis 2 | 444 x 836 | 222 x 418 | cepuk mekawis | Gagal |
| 9 | Cepuk Sudamala 1 | 720 x 960 | 360 x 480 | cepuk sudamala | Gagal |
| 10 | Cepuk Sudamala 2 | 1170 x 2080 | 585 x 1040 | cepuk sudamala | Gagal |
| 11 | Cepuk Tangi Gede 1 | 435 x 960 | 218 x 480 | cepuk tangi gede | Gagal |
| 12 | Cepuk Tangi Gede 2 | 2080 x 1560 | 1040 x 780 | cepuk tangi gede | Gagal |

Tabel 7. Pengujian Flipping

| No | Judul Stego Image | Flipping | Kunci | Proses Ekstraksi |
|----|-------------------|-----------------|----------------|------------------|
| 1 | Cepuk Kecubung 1 | flip vertical | cepuk kecubung | Gagal |
| 2 | Cepuk Kecubung 2 | flip horizontal | cepuk kecubung | Gagal |
| 3 | Cepuk Kurung 1 | flip horizontal | cepuk kurung | Gagal |

| | | | | |
|----|---------------------|-----------------|-------------------|-------|
| 4 | Cepuk Kurung 2 | flip vertical | cepuk kurung | Gagal |
| 5 | Cepuk Liking Paku 1 | flip vertical | cepuk liking paku | Gagal |
| 6 | Cepuk Liking Paku 2 | flip horizontal | cepuk liking paku | Gagal |
| 7 | Cepuk Mekawis 1 | flip vertical | cepuk mekawis | Gagal |
| 8 | Cepuk Mekawis 2 | flip horizontal | cepuk mekawis | Gagal |
| 9 | Cepuk Sudamala 1 | flip vertical | cepuk sudamala | Gagal |
| 10 | Cepuk Sudamala 2 | flip horizontal | cepuk sudamala | Gagal |
| 11 | Cepuk Tangi Gede 1 | flip horizontal | cepuk tangi gede | Gagal |
| 12 | Cepuk Tangi Gede 2 | flip vertical | cepuk tangi gede | Gagal |

Tabel 8. Pengujian *Rotation*

| No | Judul Stego Image | Rotation | Kunci | Hasil | Proses Ekstraksi |
|----|---------------------|----------|-------------------|----------------------------------|------------------|
| 1 | Cepuk Kecubung 1 | 90° | cepuk kecubung | Desa Tanglad Kabupaten Klungkung | Berhasil |
| 2 | Cepuk Kecubung 2 | -90° | cepuk kecubung | Desa Tanglad Kabupaten Klungkung | Berhasil |
| 3 | Cepuk Kurung 1 | 180° | cepuk kurung | Gede Diari Desa Tanglad | Berhasil |
| 4 | Cepuk Kurung 2 | -180° | cepuk kurung | Wayan Sukertha Desa Tanglad | Berhasil |
| 5 | Cepuk Liking Paku 1 | 270° | cepuk liking paku | Desa Tanglad Kabupaten Klungkung | Berhasil |
| 6 | Cepuk Liking Paku 2 | -270° | cepuk liking paku | Desa Tanglad Kabupaten Klungkung | Berhasil |
| 7 | Cepuk Mekawis 1 | -180° | cepuk mekawis | Desa Tanglad Kabupaten Klungkung | Berhasil |
| 8 | Cepuk Mekawis 2 | 90° | cepuk mekawis | Desa Tanglad Kabupaten Klungkung | Berhasil |
| 9 | Cepuk Sudamala 1 | 180° | cepuk sudamala | Desa Tanglad Kabupaten Klungkung | Berhasil |
| 10 | Cepuk Sudamala 2 | -270° | cepuk sudamala | Desa Tanglad Kabupaten Klungkung | Berhasil |
| 11 | Cepuk Tangi Gede 1 | 90° | cepuk tangi gede | Desa Tanglad Kabupaten Klungkung | Berhasil |
| 12 | Cepuk Tangi Gede 2 | 270° | cepuk tangi gede | Desa Tanglad Kabupaten Klungkung | Berhasil |

3.3.2. Pengujian Perangkat Lunak

Pengujian dilakukan dengan *black box testing* agar *input* dan *output* pada *website* dapat berjalan sesuai dengan yang telah dirancangkan. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 9. Pengujian *Black Box*

| No | Pengujian | Hasil Pengujian |
|----|--|-----------------|
| 1 | Memencet tombol <i>dashboard</i> untuk menampilkan tampilan awal | Berhasil |
| 2 | Memencet tombol penyisipan pada tampilan awal untuk menuju ke halaman penyisipan | Berhasil |
| 3 | Memencet tombol ekstrasi pada tampilan awal untuk menuju ke halaman ekstrasi | Berhasil |
| 4 | Memencet tombol tentang pada tampilan awal untuk menuju ke halaman tentang | Berhasil |
| 5 | Memasukkan pesan, kunci dan <i>cover image</i> lalu sistem menampilkan hasil gambar dan judulnya pada halaman penyisipan | Berhasil |
| 6 | Memencet tombol proses pada halaman penyisipan untuk melakukan proses penyisipan | Berhasil |
| 7 | Melakukan proses penyisipan | Berhasil |
| 8 | Menampilkan pesan, kunci, pesan terenkripsi, <i>QR Code</i> dan <i>stego image</i> | Berhasil |
| 9 | Memasukkan key dan <i>stego image</i> lalu sistem menampilkan hasil gambar dan judulnya pada halaman ekstrasi | Berhasil |

| | | |
|----|--|----------|
| 10 | Memencet tombol proses pada halaman ekstraksi untuk melakukan proses ekstraksi | Berhasil |
| 11 | Menampilkan pesan, kunci, pesan terenkripsi, QR Code dan Cover image | Berhasil |

4. Kesimpulan

Performa sistem untuk melakukan komputasi dalam penyisipan dan ekstraksi dengan menggunakan metode dianalisis berdasarkan pengujian komputasi yaitu pengujian tanpa serangan dan dengan serangan. Pada hasil pengujian tanpa serangan, memiliki tiga kriteria yaitu *imperceptibility*, *fidelity*, dan *recovery*. Hasil yang diperoleh pada kriteria *imperceptibility* menunjukkan bahwa responden yang telah mengisi kuesioner menjawab perbandingan gambar *original* dan gambar *stego* sama, yang mana berarti gambar *stego* ketika dibandingkan dengan gambar *original* tidak memiliki perbedaan yang cukup terlihat secara langsung. Kriteria *fidelity* mempunyai hasil nilai MSE dan PSNR dengan nilai rata-rata MSE 0,5 dan nilai rata-rata PSNR 51 dB. Hasil tersebut dapat dikatakan cukup baik. Selanjutnya pada hasil kriteria *recovery* mendapatkan hasil bahwa *stego image* berhasil diekstrak dengan kunci yang sama. Pengujian selanjutnya yang dilakukan dengan serangan pada kriteria *robustness* dengan manipulasi atau editing pemotongan (*cropping*), mengubah resolusi (*resizing*) dan pembalikan (*flipping*) memiliki hasil yang tidak dapat diekstraksi dikarenakan *embedded image* yang terdapat pada *stego image* tidak tahan terhadap proses manipulasi atau editing pada *stego image* ketika diekstrak. Sedangkan untuk rotasi (*rotation*) *stego image* dapat tahan dan menghasilkan *plaintext* ketika diekstrak.

Referensi

- [1] A. Hernandez, H. Hartini, and D. Sartika, "Steganografi Citra Menggunakan Metode Least Significant Bit (LSB) Dan Linear Congruential Generator (LCG)," *JATISI (Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi)*, vol. 5, no. 2, pp. 137–146, 2019.
- [2] Abraham, F. Z., Santosa, P. I., & Winarno, W. W. (2018). Tandatangan Digital Sebagai Solusi Teknologi Informasi Dan Komunikasi (TIK) Hijau: Sebuah Kajian Literatur. *J. Masy. Telemat. Dan Inf*, 9(2), 111–124. <https://doi.org/10.17933/mti.v9i2.120>
- [3] Ahamed, M. S., & Mustafa, H. A. (2019). A secure QR code system for sharing personal confidential information. 2019 International Conference on Computer, Communication, Chemical, Materials and Electronic Engineering (IC4ME2), 1–4. <https://doi.org/10.1109/IC4ME247184.2019.9036521>
- [4] Alvin, A. Wicaksana, and M. I. Prasetyowati, "Digital Watermarking for Color Image Using DHWT and LSB," in *2019 5th International Conference on New Media Studies (CONMEDIA)*, 2019, pp. 94–99. doi: 10.1109/CONMEDIA46929.2019.8981835.
- [5] I. J. Kadhim, P. Premaratne, P. J. Vial, and B. Halloran, "Comprehensive survey of image steganography: Techniques, Evaluations, and trends in future research," *Neurocomputing*, vol. 335, pp. 299–326, 2019.

Comparative Analysis of Algorithm of Naive Bayes and C4.5 on Employee Performance Classification

Muhammad Sadikin^{a1}, Rini Oktari Batubara ^{a2}

^{a,b} Information Systems Department, University of Potensi Utama
Medan, Indonesia

¹dicky.aries.3@gmail.com (Corresponding author)

²rini.admmedan@gmail.com

Abstract

Employee performance appraisal is one of the supporting factors to increase the productivity of an agency's performance. Performance appraisal is needed to determine the level of success of each employee's performance and is used to assess success in accordance with the objectives set in order to realize the mission and vision of a company. The employee performance appraisal system that runs at the Potensi Utama of University is outlined in the Standard Operating Procedure (SOP) document. There are 10 criteria that serve as benchmarks for assessment, namely work discipline, administrative discipline, reliability, maturity and personal integrity, morale, communication and cooperation, adherence to work principles, quantity of work results, quality of work results, and concern for the organization. The purpose of this study was to determine the level of accuracy of the two methods used by using Weka 3.8 tools using performance evaluation data mining Cross Validation 2,5,6 and 10 Fold Validation as a comparison

Keywords: Data Mining, Classification, Naïve Bayes, C4.5, Employee Performance Appraisal

1. Introduction

Employee performance appraisal is one of the supporting factors to increase the productivity of an agency's performance, therefore with performance appraisal it will be known the achievements of each employee, this is because the level of synergy between employees and the company is very high[1]. The employee performance appraisal system that runs at the Potensi Utama of University is outlined in the Standard Operating Procedure (SOP). In the employee performance report, there are several criteria that serve as benchmarks for assessment, namely work discipline, administrative discipline, reliability, personal maturity and integrity, morale, communication and cooperation, adherence to work principles, quantity of work results, quality of work results, and concern against the organization. While the resulting output, there are 3 classes, namely Special, Good and Enough.

The procedure that runs in assessing employee performance is carried out based on the weighted average calculation process for each criterion, but the classification for determining the highest level to the lowest level on the performance appraisal criteria has not been applied so that an accuracy value has not been obtained in the final result of the accumulated calculation in giving weight.

Based on this description, the authors conducted a comparative analysis of employee performance appraisal classifications with the aim of obtaining information on employee performance classification levels as a recommendation in determining the highest level to the lowest level through a decision tree that can affect employee performance appraisal. Then the algorithm calculation process is used to obtain the calculation results of the accuracy value in the classification of employee performance appraisals through two algorithms, namely the Naive Bayes Algorithm and C4.5.

Research using these two algorithms, the authors choose based on several studies that have been reviewed, with the results of the first review, namely the superiority of the Naïve Bayes algorithm in research conducted by Amra and Maghari; 2017 states that the application of the Naïve Bayes algorithm is able to provide computational time effectiveness in processing training data and the accuracy of the results given to training data is also good[2]. Then another research conducted by Jadhav and Channe; 2016 said that the Naïve Bayes algorithm also has good performance, requiring short computation time to process training data[3]. also said that the C4.5 algorithm has the advantage of providing high accurate results, with the representation decision tree easy to understand and

understandable[4]. Then according to researchers Kostopoulos.et all; 2019 where the C4.5 algorithm is one of the decision tree model algorithms that has been successfully applied to solving various problems and has proven to be quite effective in classification and regression which shows a number of major advantages, such as simplicity, flexibility and interpretability[5].

2. Reseach Methods

The research framework is used in solving problems in research. The stages in the research framework are data acquisition (collecting data) Employee Performance Reports, dividing data into 2 parts, namely training data and testing data, conducting training data experiments on each algorithm with the aim of finding a Classification Model of the algorithms used, then doing an experiment with testing data and comparing the results of the testing data experiment against the two algorithms used. testing using the Naïve Bayes algorithm, and the C4.5 algorithm, with the help of Weka tools to find comparisons of accuracy results between the two algorithms. The research framework can be seen in Figure 1.

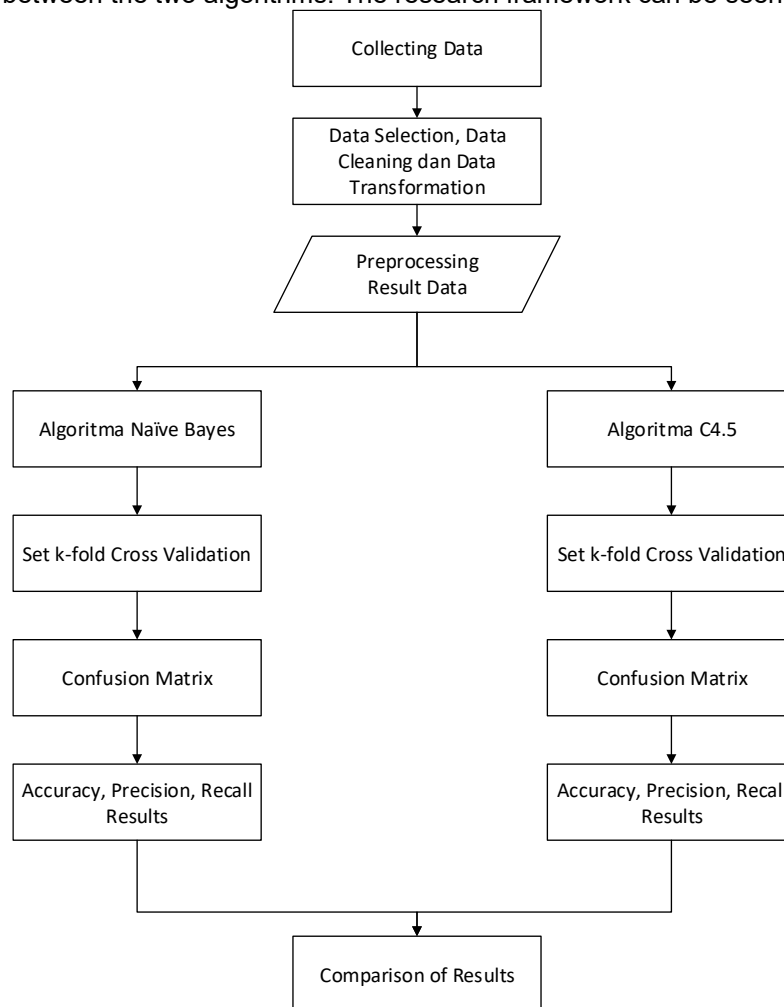


Figure 1. Research Framework

DATA COLLECTION

This stage is the initial stage that is carried out before the data testing process is carried out. The data collection process carried out in this study was carried out by means of interviews and literature studies. After the data obtained is then collected and analyzed. Then the data that has been analyzed are grouped so that later the writer will be easy to analyze the next data. In this study the data used are data such as:

1. Data on the number of employees at the Potensi Utama of University.
2. Data on the performance appraisal report of the Potensi Utama of University employees xample data 50.
3. There are 10 variables used in determining employee performance in this study, namely work discipline, administrative discipline, reliability, maturity and personal integrity, morale,

communication and cooperation, adherence to work principles, quantity of work results, quality of work results, and concern for the organization.

- The weight value for each of the assessment variables used in determining employee performance.

PREPROCESSING DATA MINING

Preprocessing is one of the important stages for data in the mining process. The data used in the mining process is not always in ideal conditions for processing. Sometimes in this data there are various problems that can interfere with the results of the mining process itself, such as missing value, redundant data, or data formats that are not in accordance with the system. Therefore, to overcome these problems, a preprocessing stage is needed. Preprocessing is one of the stages of eliminating problems that can interfere with the results of data processing. In this study, the Preprocessing stage consisted of Data Selection, Data Cleaning and Data Transformation.

The research data will then be processed using the concept of data mining using the Naïve Bayes and C4.5 algorithms, starting from the data selection process, data cleaning, data transformation, calculations using the Naïve Bayes and C4.5 algorithms to produce new knowledge. The preprocessing stages in data mining are as follows:

1. Data Selection

Data Selection is the selection of data used for the data mining process. The selected data that will be used for the data mining process is stored in a file and separated from the operational database[6].

Employee performance report data at University of Potensi Utama is the result of a summary given by each division to the HRD (Vice Chancellor II). Sample employee performance report data at University of Potensi Utama can be seen in Table 1.

Table 1. Data Selection

| No. | Inisial | Jabatan | Dimensi 1 (B=15) | Dimensi 2 (B=10) | Dimensi 3 (B=10) | Dimensi 4 (B=5) | Dimensi 5 (B=10) | Dimensi 6 (B=5) | Dimensi 7 (B=5) | Dimensi 8 (B=15) | Dimensi 9 (B=15) | Dimensi 10 (B=10) | Total BxN | Nilai Akhir | Class |
|-----|---------|---------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------|-----------|-------------|----------|
| 1 | SEWR | Staf Adminitr | 8,5 | 9 | 8,5 | 9 | 7 | 6 | 8 | 8,5 | 8,5 | 7 | 812,5 | 81,25 | Istimewa |
| 2 | IR | Staf Rektorat | 9 | 8,5 | 9 | 8,5 | 7 | 6 | 7 | 9 | 8 | 9 | 832,5 | 83,25 | Istimewa |
| 3 | SWP | Staf Rektorat | 9 | 9 | 8,5 | 8,5 | 7 | 6 | 8 | 8,5 | 8 | 8 | 820 | 82 | Istimewa |
| 4 | CP | Staf Rektorat | 9 | 9 | 9 | 9 | 6 | 8,5 | 8,5 | 8 | 8,5 | 8,5 | 837,5 | 83,75 | Istimewa |
| 5 | MS | Staf Rektorat | 9 | 9 | 9 | 9 | 6 | 8,5 | 8,5 | 8 | 8 | 8 | 825 | 82,5 | Istimewa |
| 6 | HH | Staf BAAK | 8,5 | 8 | 8,5 | 8 | 8 | 6 | 8 | 8,5 | 8,5 | 8 | 817,5 | 81,75 | Istimewa |
| 7 | VAG | Staf BAAK | 8,5 | 8 | 8,5 | 8 | 8 | 6 | 8 | 8,5 | 8 | 8,5 | 815 | 81,5 | Istimewa |
| 8 | SL | Staf BAAK | 8,5 | 7 | 8,5 | 8 | 7 | 6 | 8 | 9 | 8 | 8 | 797,5 | 79,75 | Baik |
| 9 | DSB | Staf BAAK | 8,5 | 7 | 8,5 | 7 | 7 | 6 | 7 | 8 | 8,5 | 8,5 | 785 | 78,5 | Baik |
| 10 | EA | Staf BAAK | 8,5 | 8 | 8,5 | 8 | 6 | 8,5 | 8,5 | 8 | 8 | 8 | 797,5 | 79,75 | Baik |
| 11 | EZR | Staf BAAK | 8,5 | 8 | 8,5 | 8 | 6 | 8,5 | 8 | 8,5 | 8,5 | 8,5 | 815 | 81,5 | Istimewa |
| 12 | SA | Staf BAAK | 8,5 | 8 | 8,5 | 8 | 6 | 8,5 | 8 | 8,5 | 8 | 8 | 802,5 | 80,25 | Istimewa |
| 13 | RIPA | Staf BAAK | 8,5 | 8 | 8,5 | 8 | 6 | 8,5 | 8 | 8 | 8 | 8 | 795 | 79,5 | Baik |
| 14 | DS | Staf BAAK | 8 | 8 | 8,5 | 8 | 8,5 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 810 | 81 | Istimewa |
| 15 | FSW | Staf BAAK | 8 | 8 | 9 | 8 | 8 | 9 | 9 | 8 | 8 | 8,5 | 825 | 82,5 | Istimewa |
| 16 | IA | Staf BAAK | 8 | 8 | 8 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 8 | 8 | 840 | 84 | Istimewa |
| 17 | NS | Staf BAAK | 7 | 7 | 7 | 8,5 | 8,5 | 8,5 | 8,5 | 7 | 8,5 | 8,5 | 775 | 77,5 | Baik |
| 18 | MZ | Staf BAAK | 8 | 8 | 8 | 8,5 | 8,5 | 8,5 | 9 | 7 | 8,5 | 7 | 797,5 | 79,75 | Baik |
| 19 | ZS | Staf BAAK | 8 | 8 | 8 | 8 | 6 | 8,5 | 8 | 8,5 | 8 | 8 | 790 | 79 | Baik |
| 20 | RA | Administrasi | 7 | 7 | 7 | 7 | 6 | 8,5 | 7 | 7 | 7 | 7 | 697,5 | 69,75 | Cukup |
| 21 | JA | Administrasi | 7 | 7 | 7 | 7 | 6 | 7 | 7 | 7 | 8,5 | 7 | 712,5 | 71,25 | Baik |
| 22 | RU | Administrasi | 7 | 7 | 7 | 7 | 6 | 7 | 7 | 7 | 7 | 8,5 | 705 | 70,5 | Baik |
| 50 | DM | Administrasi | 7 | 7 | 7 | 7 | 6 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 690 | 69 | Cukup |

2. Data Selection

Data Cleaning is the process of eliminating unnecessary data, redundant data. The data that is eliminated in the data cleaning process is eliminating the Employee Name and Employee Position variables. The Cleaning Results of the employee performance report data at the University of Potensi Utama can be seen in Table 2[7]

Table 2. Data Cleaning

| No | Dimensi 1 (B=15) | Dimensi 2 (B=10) | Dimensi 3 (B=10) | Dimensi 4 (B=5) | Dimensi 5 (B=10) | Dimensi 6 (B=5) | Dimensi 7 (B=5) | Dimensi 8 (B=15) | Dimensi 9 (B=15) | Dimensi 10 (B=10) | Total BxN | Nilai Akhir | Class |
|----|------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------|-----------|-------------|----------|
| 1 | 8,5 | 9 | 8,5 | 9 | 7 | 6 | 8 | 8,5 | 8,5 | 7 | 812,5 | 81,25 | Istimewa |
| 2 | 9 | 8,5 | 9 | 8,5 | 7 | 6 | 7 | 9 | 8 | 9 | 832,5 | 83,25 | Istimewa |
| 3 | 9 | 9 | 8,5 | 8,5 | 7 | 6 | 8 | 8,5 | 8 | 8 | 820 | 82 | Istimewa |
| 4 | 9 | 9 | 9 | 9 | 6 | 8,5 | 8,5 | 8 | 8,5 | 8,5 | 837,5 | 83,75 | Istimewa |
| 5 | 9 | 9 | 9 | 9 | 6 | 8,5 | 8,5 | 8 | 8 | 8 | 825 | 82,5 | Istimewa |
| 6 | 8,5 | 8 | 8,5 | 8 | 8 | 6 | 8 | 8,5 | 8,5 | 8 | 817,5 | 81,75 | Istimewa |
| 7 | 8,5 | 8 | 8,5 | 8 | 8 | 6 | 8 | 8,5 | 8 | 8,5 | 815 | 81,5 | Istimewa |
| 8 | 8,5 | 7 | 8,5 | 8 | 7 | 6 | 8 | 9 | 8 | 8 | 797,5 | 79,75 | Baik |
| 9 | 8,5 | 7 | 8,5 | 7 | 7 | 6 | 7 | 8 | 8,5 | 8,5 | 785 | 78,5 | Baik |
| 10 | 8,5 | 8 | 8,5 | 8 | 6 | 8,5 | 8,5 | 8 | 8 | 8 | 797,5 | 79,75 | Baik |
| 11 | 8,5 | 8 | 8,5 | 8 | 6 | 8,5 | 8 | 8,5 | 8,5 | 8,5 | 815 | 81,5 | Istimewa |
| 12 | 8,5 | 8 | 8,5 | 8 | 6 | 8,5 | 8 | 8,5 | 8 | 8 | 802,5 | 80,25 | Istimewa |
| 13 | 8,5 | 8 | 8,5 | 8 | 6 | 8,5 | 8 | 8 | 8 | 8 | 795 | 79,5 | Baik |
| 14 | 8 | 8 | 8,5 | 8 | 8,5 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 810 | 81 | Istimewa |
| 15 | 8 | 8 | 9 | 8 | 8 | 9 | 9 | 8 | 8 | 8,5 | 825 | 82,5 | Istimewa |
| 16 | 8 | 8 | 8 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 8 | 8 | 840 | 84 | Istimewa |
| 17 | 7 | 7 | 7 | 8,5 | 8,5 | 8,5 | 8,5 | 7 | 8,5 | 8,5 | 775 | 77,5 | Baik |
| 18 | 8 | 8 | 8 | 8,5 | 8,5 | 8,5 | 9 | 7 | 8,5 | 7 | 797,5 | 79,75 | Baik |
| 19 | 8 | 8 | 8 | 8 | 6 | 8,5 | 8 | 8,5 | 8 | 8 | 790 | 79 | Baik |
| 20 | 7 | 7 | 7 | 7 | 6 | 8,5 | 7 | 7 | 7 | 7 | 697,5 | 69,75 | Cukup |
| 21 | 7 | 7 | 7 | 7 | 6 | 7 | 7 | 7 | 8,5 | 7 | 712,5 | 71,25 | Baik |
| 22 | 7 | 7 | 7 | 7 | 6 | 7 | 7 | 7 | 7 | 8,5 | 705 | 70,5 | Baik |
| 50 | 7 | 7 | 7 | 7 | 6 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 690 | 69 | Cukup |

3. Data Transformation and Data Reduction

Data transformation is the process of classifying data, the data to be classified are work discipline, administrative discipline, reliability, maturity and personal integrity, work spirit, communication and cooperation, steadfastness to work principles, quantity of work results, quality of work results, to concern for the organization. The basis for creating transformation data is based on the weight assessment stated in the Standard Operating Procedure (SOP) at University of Potensi Utama. Data Transformation is a data adjustment step by converting all attribute values into characters which aim to make the clustering process easier[8].

Table 3. Attribute Value Conversion

| 1. Disiplin Kerja | | 2. Disiplin Administrasi | |
|---------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|------------------|
| Kelompok Bobot | Klasifikasi | Kelompok Bobot | Klasifikasi |
| $x \leq 45$ | Tidak Disiplin | $x \leq 30$ | Tidak Disiplin |
| $45,1 \leq x \leq 90$ | Kurang Disiplin | $30,1 \leq x \leq 60$ | Kurang Disiplin |
| $90,1 \leq x \leq 120$ | Cukup Disiplin | $60,1 \leq x \leq 80$ | Cukup Disiplin |
| $x > 120$ | Disiplin | $x > 80$ | Disiplin |
| 3. Keandalan | | 4. Kedewasaan dan Integritas Pribadi | |
| Kelompok Bobot | Klasifikasi | Kelompok Bobot | Klasifikasi |
| $x \leq 30$ | Tidak Bisa Dipercaya | $x \leq 15$ | Tidak Konsisten |
| $30,1 \leq x \leq 60$ | Kurang Bisa Dipercaya | $15,1 \leq x \leq 30$ | Kurang konsisten |
| $60,1 \leq x \leq 80$ | Cukup Bisa Dipercaya | $30,1 \leq x \leq 40$ | Cukup konsisten |
| $x > 80$ | Bisa Dipercaya | $x > 40$ | Konsisten |
| 5. Semangat Kerja | | 6. Komunikasi dan kerja sama | |
| Kelompok Bobot | Klasifikasi | Kelompok Bobot | Klasifikasi |
| $x \leq 30$ | Tidak Semangat | $x \leq 15$ | Tidak Inisiatif |
| $30,1 \leq x \leq 60$ | Kurang Semangat | $15,1 \leq x \leq 30$ | Kurang Inisiatif |
| $60,1 \leq x \leq 80$ | Cukup Semangat | $30,1 \leq x \leq 40$ | Cukup inisiatif |
| $x > 80$ | Semangat | $x > 40$ | Inisiatif |
| 7. Keteguhan pada Prinsip Kerja | | 8. Kuantitas Hasil Kerja | |
| Kelompok Bobot | Klasifikasi | Kelompok Bobot | Klasifikasi |
| $x \leq 15$ | Tidak Menguasai | $x \leq 45$ | Tidak Tercapai |
| $15,1 \leq x \leq 30$ | Kurang Menguasai | $45,1 \leq x \leq 90$ | Jarang Tercapai |
| $30,1 \leq x \leq 40$ | Cukup Menguasai | $90,1 \leq x \leq 120$ | Cukup Tercapai |
| $x > 40$ | Sangat Menguasai | $x > 120$ | Selalu Tercapai |
| 9. Kualitas Hasil Kerja | | 10. Kepedulian Terhadap Organisasi | |
| Kelompok Bobot | Klasifikasi | Kelompok Bobot | Klasifikasi |
| $x \leq 45$ | Tidak Memuaskan | $x \leq 30$ | Tidak Peduli |
| $45,1 \leq x \leq 90$ | Jarang Memuaskan | $30,1 \leq x \leq 60$ | Kurang Peduli |
| $90,1 \leq x \leq 120$ | Cukup Memuaskan | $60,1 \leq x \leq 80$ | Cukup Peduli |
| $x > 120$ | Selalu Memuaskan | $x > 80$ | Sangat Peduli |

The last stage of data preprocessing is data reduction. This is the process of reducing data to reduce the volume of data without losing important information. This can speed up processing and analysis.

Table 5. Transformation Results

| Dimensi 1 (B=15) | Dimensi 2 (B=10) | Dimensi 3 (B=10) | Dimensi 4 (B=5) | Dimensi 5 (B=10) | Dimensi 6 (B=5) | Dimensi 7 (B=5) | Dimensi 8 (B=15) | Dimensi 9 (B=15) | Dimensi 10 (B=10) | Class |
|------------------|------------------|----------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|----------|
| Disiplin | Disiplin | Bisa_Dipercaya | Konsisten | Cukup_Semangat | Kurang_inisiatif | Cukup_Menguasai | Selalu_Tercapai | Selalu_Memuaskan | Cukup_Perduli | Istimewa |
| Disiplin | Disiplin | Bisa_Dipercaya | Konsisten | Cukup_Semangat | Kurang_inisiatif | Cukup_Menguasai | Selalu_Tercapai | Cukup_Memuaskan | Sangat_Perduli | Istimewa |
| Disiplin | Disiplin | Bisa_Dipercaya | Konsisten | Cukup_Semangat | Kurang_inisiatif | Cukup_Menguasai | Selalu_Tercapai | Cukup_Memuaskan | Cukup_Perduli | Istimewa |
| Disiplin | Disiplin | Bisa_Dipercaya | Konsisten | Kurang_Semangat | Inisiatif | Sangat_Menguasai | Cukup_Tercapai | Selalu_Memuaskan | Sangat_Perduli | Istimewa |
| Disiplin | Disiplin | Bisa_Dipercaya | Konsisten | Kurang_Semangat | Inisiatif | Sangat_Menguasai | Cukup_Tercapai | Cukup_Memuaskan | Cukup_Perduli | Istimewa |
| Disiplin | Cukup_Disiplin | Bisa_Dipercaya | Cukup_Konsisten | Cukup_Semangat | Kurang_inisiatif | Cukup_Menguasai | Selalu_Tercapai | Selalu_Memuaskan | Cukup_Perduli | Istimewa |
| Disiplin | Cukup_Disiplin | Bisa_Dipercaya | Cukup_Konsisten | Cukup_Semangat | Kurang_inisiatif | Cukup_Menguasai | Selalu_Tercapai | Cukup_Memuaskan | Sangat_Perduli | Istimewa |
| Disiplin | Cukup_Disiplin | Bisa_Dipercaya | Cukup_Konsisten | Cukup_Semangat | Kurang_inisiatif | Cukup_Menguasai | Selalu_Tercapai | Cukup_Memuaskan | Cukup_Perduli | Baik |
| Disiplin | Cukup_Disiplin | Bisa_Dipercaya | Cukup_Konsisten | Cukup_Semangat | Kurang_inisiatif | Cukup_Menguasai | Cukup_Tercapai | Selalu_Memuaskan | Sangat_Perduli | Baik |
| Disiplin | Cukup_Disiplin | Bisa_Dipercaya | Cukup_Konsisten | Kurang_Semangat | Inisiatif | Sangat_Menguasai | Cukup_Tercapai | Cukup_Memuaskan | Cukup_Perduli | Baik |
| Disiplin | Cukup_Disiplin | Bisa_Dipercaya | Cukup_Konsisten | Kurang_Semangat | Inisiatif | Cukup_Menguasai | Selalu_Tercapai | Selalu_Memuaskan | Cukup_Perduli | Istimewa |
| Disiplin | Cukup_Disiplin | Bisa_Dipercaya | Cukup_Konsisten | Kurang_Semangat | Inisiatif | Cukup_Menguasai | Selalu_Tercapai | Cukup_Memuaskan | Cukup_Perduli | Istimewa |
| Disiplin | Cukup_Disiplin | Bisa_Dipercaya | Cukup_Konsisten | Kurang_Semangat | Inisiatif | Cukup_Menguasai | Cukup_Tercapai | Cukup_Memuaskan | Cukup_Perduli | Baik |
| Cukup_Disiplin | Cukup_Disiplin | Bisa_Dipercaya | Cukup_Konsisten | Semangat | Cukup_inisiatif | Cukup_Menguasai | Cukup_Tercapai | Cukup_Memuaskan | Cukup_Perduli | Istimewa |
| Cukup_Disiplin | Cukup_Disiplin | Bisa_Dipercaya | Cukup_Konsisten | Cukup_Semangat | Inisiatif | Sangat_Menguasai | Cukup_Tercapai | Cukup_Memuaskan | Sangat_Perduli | Istimewa |
| Cukup_Disiplin | Cukup_Disiplin | Cukup_Bisa_Dipercaya | Konsisten | Semangat | Inisiatif | Sangat_Menguasai | Selalu_Tercapai | Cukup_Memuaskan | Cukup_Perduli | Istimewa |
| Cukup_Disiplin | Cukup_Disiplin | Cukup_Bisa_Dipercaya | Konsisten | Semangat | Inisiatif | Sangat_Menguasai | Cukup_Tercapai | Selalu_Memuaskan | Sangat_Perduli | Baik |
| Cukup_Disiplin | Cukup_Disiplin | Cukup_Bisa_Dipercaya | Konsisten | Semangat | Inisiatif | Sangat_Menguasai | Cukup_Tercapai | Cukup_Memuaskan | Cukup_Perduli | Baik |
| Cukup_Disiplin | Cukup_Disiplin | Cukup_Bisa_Dipercaya | Cukup_Konsisten | Kurang_Semangat | Inisiatif | Cukup_Menguasai | Selalu_Tercapai | Cukup_Memuaskan | Cukup_Perduli | Baik |
| Cukup_Disiplin | Cukup_Disiplin | Cukup_Bisa_Dipercaya | Cukup_Konsisten | Kurang_Semangat | Inisiatif | Cukup_Menguasai | Cukup_Tercapai | Cukup_Memuaskan | Cukup_Perduli | Cukup |
| Cukup_Disiplin | Cukup_Disiplin | Cukup_Bisa_Dipercaya | Cukup_Konsisten | Kurang_Semangat | Cukup_inisiatif | Cukup_Menguasai | Cukup_Tercapai | Selalu_Memuaskan | Cukup_Perduli | Baik |
| Cukup_Disiplin | Cukup_Disiplin | Cukup_Bisa_Dipercaya | Cukup_Konsisten | Kurang_Semangat | Cukup_inisiatif | Cukup_Menguasai | Cukup_Tercapai | Cukup_Memuaskan | Sangat_Perduli | Baik |
| Cukup_Disiplin | Cukup_Disiplin | Cukup_Bisa_Dipercaya | Cukup_Konsisten | Kurang_Semangat | Cukup_inisiatif | Cukup_Menguasai | Cukup_Tercapai | Cukup_Memuaskan | Cukup_Perduli | Cukup |

Data mining is the process of finding patterns, new knowledge from big data sets, also known as knowledge discovery in databases [9]. According to Ketui.et all; 2019 that data mining is a process of finding patterns and relationships from a large number of datasets with various methods such as machine learning, statistics, and database systems[6]. This study analyzed the performance appraisal of employees by applying the naïve Bayes algorithm and C4.5 to determine accuracy by applying the k-fold evaluation model Cross Validation and Confusion Matrix.

NAÏVE BAYES ALGORITHM

The Naive Bayes algorithm is a simple probability classifier that calculates a set of probabilities by calculating the frequency and combination of values in a given data set[10].

This method requires only a small amount of training data to determine the parameter estimates required in the classification process. NBC often performs much better in the most complex of real-world situations than might be expected[11].

The general form of the Naïve Baye Algorithms can be seen in equation II.1. [12]

$$P(C|X) = \frac{P(X|C).P(c)}{P(X)} \dots\dots\dots (II.1)$$

Where :

- X : Data with an unknown class
- C : The data hypothesis is a specific class
- P(C | X) : The probability of hypothesis C under condition X (posteriori probability)
- P(c) : Probability hypothesis c (prior probability)
- P(x | c) : Probability X based on the conditions in hypothesis C
- P(x) : Probability X (Doctor prior probability)

ALGORITHM C4.5

The decision tree has become a well-known method of data mining. The increasing use of the method is due to a number of benefits, among others, is the fact that it is easy to understand and interpret[13]. Decision trees also require minimal data preparation effort, are capable of handling both numerical and categorical data, and they perform very well with large data sets in a relatively short amount of time[14].

The C4.5 algorithm steps for building a decision tree, among others[12]:

1. Select attribute as root, attribute selection as root is based on the highest gain value of existing attributes. To calculate the highest gain value, use the following II.2.1 equation:

$$Gain(S, A) = Entropy(S) - \sum_{i=1}^n \frac{|S_i|}{|S|} Entropy(S_i) \quad (II.2.1)$$

Where:

- A = Attribute
- S = Case Set

n = number of partitions attribute A
 S_i = Proportion of S_i to S
 S = number of cases in S

Meanwhile, to calculate the Entropy value can be seen in equation II.2.2 below:

$$\text{Entropy}(S) = \sum_{i=0}^n -p_i * \log_2 p_i \quad (\text{II.2.2})$$

Where:

S = Case set
 n = number of partitions S
 P_i = the proportion of S_i to S

2. Create a branch for each member of the Node.
3. Check if the entropy value of any Node member is zero. If present, determine which leaves are formed. If all Node member entropy values are zero, the process stops.
 If any member of the Node has an entropy value greater than zero, repeat the process from the beginning with Node as a condition until all members of the Node are zero. Node is the attribute that has the highest gain value of the existing attributes.

EVALUATION OF DATA MINING CLASSIFICATION PERFORMANCE

Classification system performance describes how well the system classifies data. Evaluation is intended to test the data mining classification model to determine system performance. According to [15] The methods that are quite popular for evaluating the performance of data mining classifications are:

1. k-fold Cross Validation

Cross Validation using cross validation will be carried out as many experiments as k. Each experiment will use one test data and the k-1 part will become training data, then the test data will be exchanged with a single training data so that for each trial different test data will be obtained [16]. Training data is data that will be used to test learning while data is data that has not been used as learning and will be used as data for testing the truth or accuracy of learning outcomes.

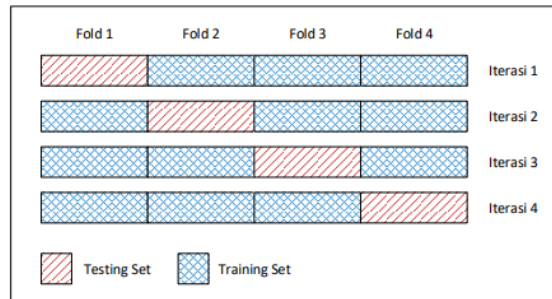


Figure 1. Illustration of k-fold cross validation

2. Confusion Matrix

In data mining, to measure the performance of the resulting model, one of which uses a confusion matrix (accuracy). Confusion matrix is a method used to calculate accuracy in the concept of data mining. Precision or confidence is the proportion of positive predicted cases that are also true positives on the actual data. Recall or sensitivity is the proportion of true positive cases predicted to be positive correctly [17].

The confusion matrix contains information about the actual class and predictive class of a classification process. Basically confusion matrix compares the results of the classification performed by a system with the actual classification results [17]. Table 6 shows the classification confusion matrix for the two classes.

| Table 6. The Confusion Matrix Model | | |
|--|---------------------|---------------------|
| Actual | Classified as | |
| | + | - |
| + | True positives (A) | False negatives (B) |
| - | False positives (C) | True negatives (D) |

Accuracy calculation with confusion matrix table is as follows:

$$\text{Accuracy} = (A + D) / (A + B + C + D) \text{ or}$$

$$\text{Accuracy} = \frac{\text{Total Correctly}}{\Sigma \text{ Actual}}$$

Precision is defined as the ratio of the relevant items selected to all selected items. Precision can be interpreted as a match between requests for information and answers to these requests. The formula for precision is:

$$\text{Precision} = A / (C + A), \text{ or}$$

$$\text{Precision of class} = \frac{\text{Correctly Predicted}}{\Sigma \text{ Predicted}}$$

$$\text{Weight Average Precision} = \Sigma \frac{\text{Actual Class}}{\text{Total Precision}} \times \text{Precision of class}$$

Recall is defined as the ratio of the relevant items selected to the total number of relevant items available. Recall is calculated by the formula:

$$\text{Recall} = A / (A + D) \text{ or}$$

$$\text{Recall of class} = \frac{\text{Correctly Classified}}{\Sigma \text{ Actual}}$$

$$\text{Weight Average Recall} = \Sigma \frac{\text{Actual Class}}{\text{Total Recall}} \times \text{Recall of class}$$

Precision and Recall can be rated in numeric form by using a percentage calculation (1-100%) or by using a number between 0-1. The recommendation system will be considered good if the precision and recall values are high.

3. Result and Discussion

Experiments were carried out by selecting the Naïve Bayes algorithm and C4.5 in classifying employee performance in order to determine the classification model for the training data used. Testing was carried out using one of the popular data mining tools to solve many problems in data mining, namely WEKA version 3.8[18].

Waikato Environment for Knowledge Analysis (Weka) is a suite of machine knowledge software. Weka contains a compilation of visualization tools and algorithms for data analysis and predictive modeling, with a graphical user interface[19].

The steps taken in carrying out the data testing process to determine the classification of employee performance are as follows:

1. Collect employee data and carry out weight conversion to data.
2. Configure the excel file extension which will be presented in arff format.
3. Perform the calculation process (data execution) to determine the accuracy of the two methods used.

The screenshot shows a table with 11 columns. The first 10 columns represent different performance attributes, and the 11th column is labeled 'Class'. The data rows show various combinations of these attributes, such as 'Disiplin', 'Konsisten', 'Semangat', 'Kurang', 'Inisiatif', 'Sangat', 'Cukup', 'Selalu', and 'Tidak'.

| No. | 1: Disiplin_Kerja | 2: Disiplin_Administrasi | 3: Keandalan | 4: Integritas_Pribadi | 5: Semangat_Kerja | 6: Kerja_Sama | 7: Prinsip_Kerja | 8: Kuantitas_Hasil_Kerja | 9: Kualitas_Hasil_Kerja | 10: Perilaku_Organisasi | 11: Class |
|-----|-------------------|--------------------------|--------------|-----------------------|-------------------|----------------|------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------|
| 1 | Disiplin | Disiplin | Bisa_Dipe... | Konsisten | Cukup_Semangat | Kurang_inis... | Cukup_Meng... | Selalu_Tercapai | Selalu_Memuaskan | Cukup_Perdu... | Istime... |
| 2 | Disiplin | Disiplin | Bisa_Dipe... | Konsisten | Cukup_Semangat | Kurang_inis... | Cukup_Meng... | Selalu_Tercapai | Cukup_Memuaskan | Sangat_Perdu... | Istime... |
| 3 | Disiplin | Disiplin | Bisa_Dipe... | Konsisten | Cukup_Semangat | Kurang_inis... | Cukup_Meng... | Selalu_Tercapai | Cukup_Memuaskan | Cukup_Perdu... | Istime... |
| 4 | Disiplin | Disiplin | Bisa_Dipe... | Konsisten | Kurang_Seman... | Inisiatif | Sangat_Men... | Cukup_Tercapai | Selalu_Memuaskan | Sangat_Perdu... | Istime... |
| 5 | Disiplin | Disiplin | Bisa_Dipe... | Konsisten | Kurang_Seman... | Inisiatif | Sangat_Men... | Cukup_Tercapai | Cukup_Memuaskan | Cukup_Perdu... | Istime... |
| 6 | Disiplin | Cukup_Disiplin | Bisa_Dipe... | Cukup_Konsisten | Cukup_Semangat | Kurang_inis... | Cukup_Meng... | Selalu_Tercapai | Selalu_Memuaskan | Cukup_Perdu... | Istime... |
| 7 | Disiplin | Cukup_Disiplin | Bisa_Dipe... | Cukup_Konsisten | Cukup_Semangat | Kurang_inis... | Cukup_Meng... | Selalu_Tercapai | Cukup_Memuaskan | Sangat_Perdu... | Istime... |
| 8 | Disiplin | Cukup_Disiplin | Bisa_Dipe... | Cukup_Konsisten | Cukup_Semangat | Kurang_inis... | Cukup_Meng... | Selalu_Tercapai | Cukup_Memuaskan | Cukup_Perdu... | Baik |
| 9 | Disiplin | Cukup_Disiplin | Bisa_Dipe... | Cukup_Konsisten | Cukup_Semangat | Kurang_inis... | Cukup_Meng... | Cukup_Tercapai | Selalu_Memuaskan | Sangat_Perdu... | Baik |
| 10 | Disiplin | Cukup_Disiplin | Bisa_Dipe... | Cukup_Konsisten | Kurang_Seman... | Inisiatif | Sangat_Men... | Cukup_Tercapai | Cukup_Memuaskan | Cukup_Perdu... | Baik |
| 11 | Disiplin | Cukup_Disiplin | Bisa_Dipe... | Cukup_Konsisten | Kurang_Seman... | Inisiatif | Cukup_Meng... | Selalu_Tercapai | Selalu_Memuaskan | Sangat_Perdu... | Istime... |
| 12 | Disiplin | Cukup_Disiplin | Bisa_Dipe... | Cukup_Konsisten | Kurang_Seman... | Inisiatif | Cukup_Meng... | Selalu_Tercapai | Cukup_Memuaskan | Cukup_Perdu... | Istime... |
| 13 | Disiplin | Cukup_Disiplin | Bisa_Dipe... | Cukup_Konsisten | Kurang_Seman... | Inisiatif | Cukup_Meng... | Cukup_Tercapai | Cukup_Memuaskan | Cukup_Perdu... | Baik |
| 14 | Cukup_Disiplin | Cukup_Disiplin | Bisa_Dipe... | Cukup_Konsisten | Semangat | Cukup_inis... | Cukup_Meng... | Cukup_Tercapai | Cukup_Memuaskan | Cukup_Perdu... | Istime... |
| 15 | Cukup_Disiplin | Cukup_Disiplin | Bisa_Dipe... | Cukup_Konsisten | Cukup_Semangat | Inisiatif | Sangat_Men... | Cukup_Tercapai | Cukup_Memuaskan | Sangat_Perdu... | Istime... |
| 16 | Cukup_Disiplin | Cukup_Disiplin | Cukup_Bi... | Konsisten | Semangat | Inisiatif | Sangat_Men... | Selalu_Tercapai | Cukup_Memuaskan | Cukup_Perdu... | Istime... |
| 17 | Cukup_Disiplin | Cukup_Disiplin | Cukup_Bi... | Konsisten | Semangat | Inisiatif | Sangat_Men... | Cukup_Tercapai | Selalu_Memuaskan | Sangat_Perdu... | Baik |
| 18 | Cukup_Disiplin | Cukup_Disiplin | Cukup_Bi... | Konsisten | Semangat | Inisiatif | Sangat_Men... | Cukup_Tercapai | Selalu_Memuaskan | Cukup_Perdu... | Baik |
| 19 | Cukup_Disiplin | Cukup_Disiplin | Cukup_Bi... | Cukup_Konsisten | Kurang_Seman... | Inisiatif | Cukup_Meng... | Selalu_Tercapai | Cukup_Memuaskan | Cukup_Perdu... | Baik |
| 20 | Cukup_Disiplin | Cukup_Disiplin | Cukup_Bi... | Cukup_Konsisten | Kurang_Seman... | Inisiatif | Cukup_Meng... | Cukup_Tercapai | Cukup_Memuaskan | Cukup_Perdu... | Cukup |
| 21 | Cukup_Disiplin | Cukup_Disiplin | Cukup_Bi... | Cukup_Konsisten | Kurang_Seman... | Cukup_inis... | Cukup_Meng... | Cukup_Tercapai | Selalu_Memuaskan | Cukup_Perdu... | Baik |
| 22 | Cukup_Disiplin | Cukup_Disiplin | Cukup_Bi... | Cukup_Konsisten | Kurang_Seman... | Cukup_inis... | Cukup_Meng... | Cukup_Tercapai | Cukup_Memuaskan | Sangat_Perdu... | Baik |
| 23 | Cukup_Disiplin | Cukup_Disiplin | Cukup_Bi... | Cukup_Konsisten | Kurang_Seman... | Cukup_inis... | Cukup_Meng... | Cukup_Tercapai | Cukup_Memuaskan | Cukup_Perdu... | Cukup |
| 24 | Cukup_Disiplin | Cukup_Disiplin | Cukup_Bi... | Cukup_Konsisten | Kurang_Seman... | Kurang_inis... | Cukup_Meng... | Selalu_Tercapai | Cukup_Memuaskan | Sangat_Perdu... | Baik |
| 25 | Cukup_Disiplin | Cukup_Disiplin | Cukup_Bi... | Cukup_Konsisten | Kurang_Seman... | Kurang_inis... | Cukup_Meng... | Cukup_Tercapai | Cukup_Memuaskan | Sangat_Perdu... | Baik |
| 26 | Cukup_Disiplin | Cukup_Disiplin | Cukup_Bi... | Cukup_Konsisten | Kurang_Seman... | Kurang_inis... | Cukup_Meng... | Cukup_Tercapai | Cukup_Memuaskan | Cukup_Perdu... | Cukup |
| 27 | Disiplin | Disiplin | Bisa_Dipe... | Konsisten | Semangat | Inisiatif | Sangat_Men... | Selalu_Tercapai | Selalu_Memuaskan | Sangat_Perdu... | Istime... |
| 28 | Disiplin | Disiplin | Bisa_Dipe... | Konsisten | Semangat | Inisiatif | Sangat_Men... | Selalu_Tercapai | Selalu_Memuaskan | Cukup_Perdu... | Baik |
| 29 | Disiplin | Disiplin | Bisa_Dipe... | Konsisten | Semangat | Inisiatif | Sangat_Men... | Selalu_Tercapai | Cukup_Memuaskan | Sangat_Perdu... | Istime... |
| 30 | Disiplin | Disiplin | Bisa_Dipe... | Konsisten | Semangat | Inisiatif | Sangat_Men... | Selalu_Tercapai | Cukup_Memuaskan | Cukup_Perdu... | Istime... |
| 31 | Disiplin | Disiplin | Bisa_Dipe... | Konsisten | Semangat | Inisiatif | Sangat_Men... | Cukup_Tercapai | Selalu_Memuaskan | Sangat_Perdu... | Istime... |
| 32 | Disiplin | Disiplin | Bisa_Dipe... | Konsisten | Semangat | Inisiatif | Sangat_Men... | Cukup_Tercapai | Selalu_Memuaskan | Cukup_Perdu... | Istime... |
| 33 | Disiplin | Disiplin | Bisa_Dipe... | Konsisten | Semangat | Inisiatif | Sangat_Men... | Cukup_Tercapai | Cukup_Memuaskan | Cukup_Perdu... | Istime... |
| 34 | Disiplin | Disiplin | Bisa_Dipe... | Konsisten | Semangat | Inisiatif | Sangat_Men... | Cukup_Tercapai | Cukup_Memuaskan | Cukup_Perdu... | Istime... |
| 35 | Disiplin | Disiplin | Bisa_Dipe... | Konsisten | Cukup_Semangat | Kurang_inis... | Cukup_Meng... | Selalu_Tercapai | Selalu_Memuaskan | Sangat_Perdu... | Istime... |
| 36 | Disiplin | Disiplin | Bisa_Dipe... | Konsisten | Cukup_Semangat | Kurang_inis... | Cukup_Meng... | Selalu_Tercapai | Selalu_Memuaskan | Cukup_Perdu... | Istime... |
| 37 | Disiplin | Disiplin | Bisa_Dipe... | Konsisten | Cukup_Semangat | Kurang_inis... | Cukup_Meng... | Selalu_Tercapai | Cukup_Memuaskan | Sangat_Perdu... | Istime... |
| 38 | Disiplin | Disiplin | Bisa_Dipe... | Konsisten | Cukup_Semangat | Kurang_inis... | Cukup_Meng... | Selalu_Tercapai | Cukup_Memuaskan | Sangat_Perdu... | Istime... |

Figure 2. Converting CSV to Arff

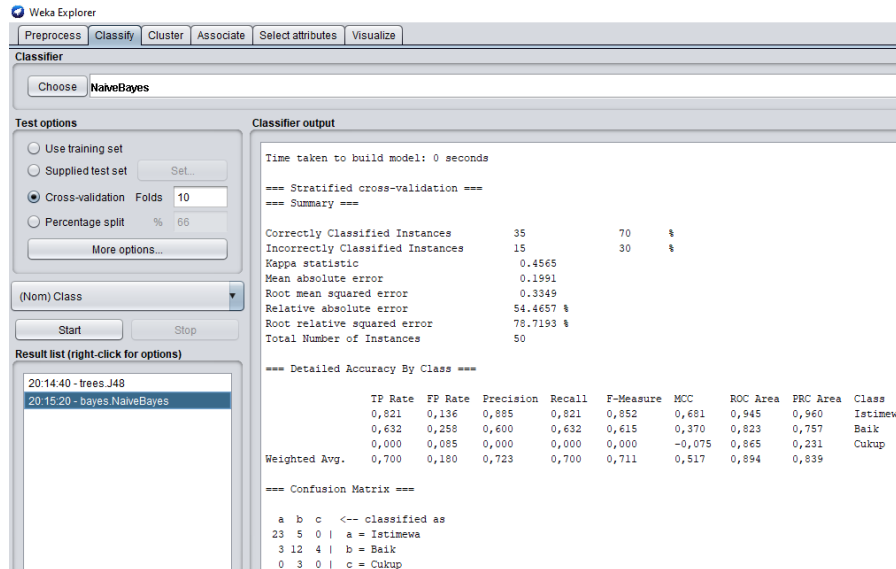


Figure 3. Experiment with Naïve Bayes Algorithm

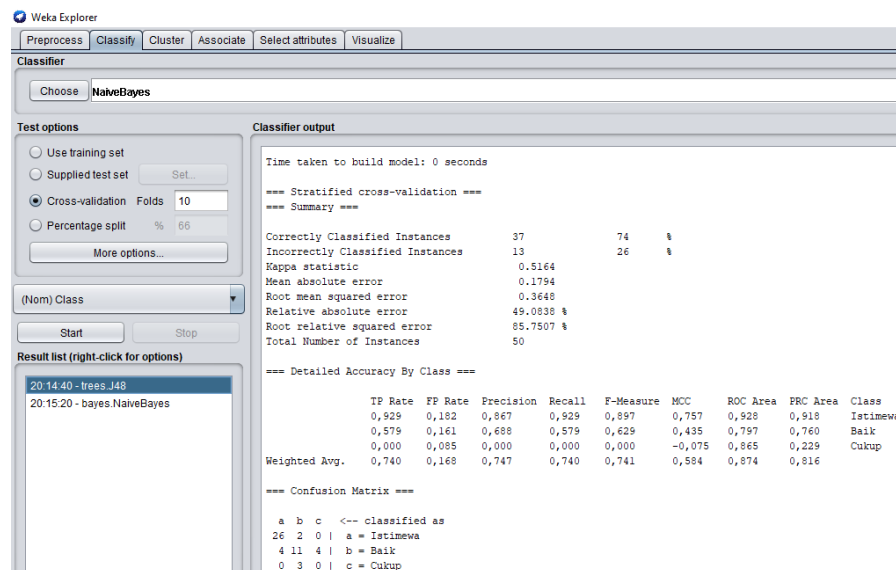


Figure 4. Experiments with the C4.5 Algorithm

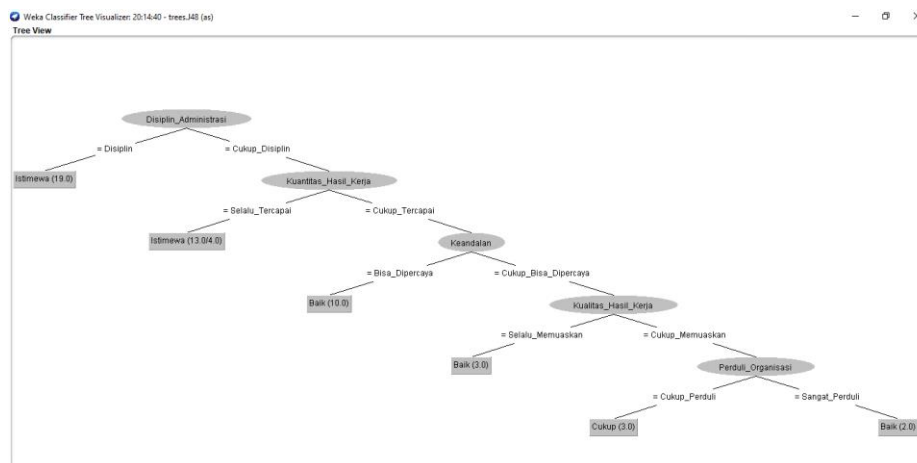


Figure 5. Decision Tree Results C4.5

The rules generated from the decision tree of the determining factors for Employee Performance Appraisal based on Figure 6 are as follows:

1. If Administrative Discipline = Discipline, Then Employee Performance = Special;
2. If Administrative Discipline = Discipline, Then Quantity of Work = Always Achieved, Then Employee Performance = Special;
3. If Administrative Discipline = Discipline, Then Quantity of Work = Sufficiently Achieved, Then Reliability = Can be trusted, Then Employee Performance = Good;
4. If Administrative Discipline = Discipline, Then Quantity of Work = Fairly Achieved, Then Reliability = Sufficiently Trustworthy, Then Quality of Work = Always Satisfactory, Then Employee Performance = Good;
5. If Administrative Discipline = Discipline, Then Quantity of Work = Sufficiently Achieved, Then Reliability = Sufficiently Trustworthy, Then Quality of Work = Sufficiently Satisfactory, Then Care for Organization = Enough to Care, Then Employee Performance = Enough;
6. If Administrative Discipline = Discipline, Then Quantity of Work = Sufficiently Achieved, Then Reliability = Sufficiently Trustworthy, Then Quality of Work = Sufficiently Satisfactory, Then Care for Organization = Very Concerned, Then Employee Performance = Good;

TESTING AND EVALUATION OF THE MODEL

The model obtained from the two methods of Naïve Bayes and C4.5 is then tested using k-fold cross validation. Cross validation is a simple form of statistical technique. The number of standard folds to predict the error rate of data is to use 2-fold, 5-fold, 6-fold and 10-fold Cross Validation.[20]. The distribution of Data Training and Data Testing will be randomized automatically by tools.

The evaluation model used in this study is a Confusion Matrix model. The confusion matrix contains information about the actual class and predictive class of a classification process. Basically confusion matrix compares the results of the classification performed by a system with the actual classification results[15].

Table 7. Experiment Results with K-Cross Validation

| Cross Validation | 2 K-Fold | | 5 K-Fold | | 6 K-Fold | | 10 K-Fold | |
|------------------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|
| | Naïve Bayes | C4.5 | Naïve Bayes | C4.5 | Naïve Bayes | C4.5 | Naïve Bayes | C4.5 |
| Accuracy | 76 | 74 | 68 | 76 | 78 | 80 | 70 | 74 |
| Presisi | 0,798 | 0,607 | 0,705 | 0,773 | 0,798 | 0,794 | 0,723 | 0,747 |
| Recall | 0,760 | 0,740 | 0,680 | 0,760 | 0,780 | 0,800 | 0,700 | 0,740 |

From the table above, it can be seen that the algorithm with the best accuracy, precision and recall values lies in 6 Cross Validation, so that the confusion matrix table is found as shown in table 8.

Table 8.Table Confusion Matrix (6 Cross Validation)

| | | Actual Values | | | | | | | Actual Values | | | | |
|------------------|-----------------|---------------|------|-------|--------------|-----------------|------------------|------|---------------|------|-------|--------------|----|
| | | Istimewa | Baik | Cukup | Total Actual | | | | Istimewa | Baik | Cukup | Total Actual | |
| Predicted Values | Naïve Bayes | Istimewa | 24 | 4 | 0 | 28 | Predicted Values | C4.5 | Istimewa | 28 | 0 | 0 | 28 |
| | Baik | 2 | 14 | 3 | 19 | Baik | | 4 | 12 | 3 | 19 | | |
| | Cukup | 0 | 2 | 1 | 3 | Cukup | | 0 | 3 | 0 | 3 | | |
| | Total Predicted | 26 | 20 | 4 | 50 | Total Predicted | | 32 | 15 | 3 | 50 | | |

From the table above, we can calculate the accuracy, precision and recall values with the calculation of confusion matrix for the Naïve Bayes Algorithm:

1. Precision of class = $\frac{\text{Correctly Predicted}}{\Sigma \text{ Predicted}}$
 against Class A = $\frac{24}{26} = 0,923$
 against Class B = $\frac{14}{20} = 0,7$
 against Class C = $\frac{1}{4} = 0,25$
2. Recall of class = $\frac{\text{Correctly Classified}}{\Sigma \text{ Actual}}$
 against Class A = $\frac{24}{28} = 0,857$
 against Class B = $\frac{14}{19} = 0,737$
 against Class C = $\frac{1}{3} = 0,333$
3. Accuracy = $\frac{\text{Total Correctly}}{\Sigma \text{ Actual}} = \frac{24+14+1}{50} = 0,78x 100 = 78\%$

4. Weight Average Precision = $\Sigma \frac{\text{Actual Class}}{\text{Total Precision}} \times \text{Precision of class}$
 $= \left(\frac{28}{50} \times 0,923\right) + \left(\frac{19}{50} \times 0,7\right) + \left(\frac{3}{50} \times 0,25\right)$
 $= 0,517 + 0,266 + 0,015$
 $= 0,798$
5. Weight Average Recall = $\Sigma \frac{\text{Actual Class}}{\text{Total Recall}} \times \text{Recall of class}$
 $= \left(\frac{28}{50} \times 0,857\right) + \left(\frac{19}{50} \times 0,737\right) + \left(\frac{3}{50} \times 0,333\right)$
 $= 0,480 + 0,280 + 0,020$
 $= 0,78$

While the validation test with confusion matrix calculation for the C4.5 Algorithm is as follows:

1. Precision of class = $\frac{\text{Correctly Predicted}}{\Sigma \text{ Predicted}}$
 against Class A = $\frac{28}{32} = 0,875$
 against Class B = $\frac{12}{15} = 0,8$
 against Class C = $\frac{0}{3} = 0$
2. Recall of class = $\frac{\text{Correctly Classified}}{\Sigma \text{ Actual}}$
 against Class A = $\frac{28}{28} = 1$
 against Class B = $\frac{12}{19} = 0,631$
 against Class C = $\frac{0}{3} = 0$
3. Accuracy = $\frac{\text{Total Correctly}}{\Sigma \text{ Actual}} = \frac{28+12+0}{50} = 0,8 \times 100 = 80\%$
4. Weight Average Precision = $\Sigma \frac{\text{Actual Class}}{\text{Total Precision}} \times \text{Precision of class}$
 $= \left(\frac{28}{50} \times 0,875\right) + \left(\frac{19}{50} \times 0,8\right) + \left(\frac{3}{50} \times 0\right)$
 $= 0,49 + 0,304 + 0$
 $= 0,794$
5. Weight Average Recall = $\Sigma \frac{\text{Actual Class}}{\text{Total Recall}} \times \text{Recall of class}$
 $= \left(\frac{28}{50} \times 1\right) + \left(\frac{19}{50} \times 0,631\right) + \left(\frac{3}{50} \times 0\right)$
 $= 0,56 + 0,240 + 0$
 $= 0,800$

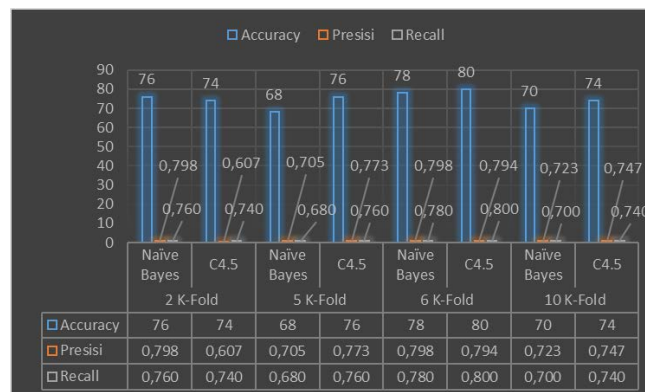


Figure 6. Comparison Graph of Accuracy, Precision, and Recall Results

4. Conclusion

The results of data mining processing experiments on employee performance appraisal data showed that the Naïve Bayes algorithm obtained an accuracy value of 78%, with a Precision value of 0.798, and a Recall value of 0.780 with the highest Cross Validation of 6 Fold Cross Validation. While the C4.5 algorithm is able to provide accuracy values by obtaining an accuracy value of 80% of the data, with a Precision value of 0.794, and a Recall value of 0.800 with the highest Cross Validation of 6 Fold Cross Validation. The results of the comparison of the accuracy of the two algorithms can be seen in Figure 7.

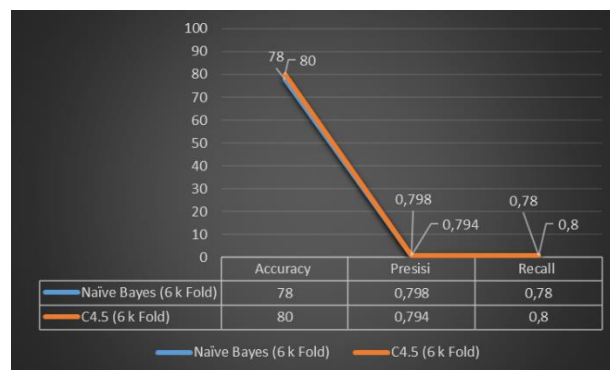


Figure 7. Comparison Graph of Accuracy, Precision, and Recall Results for 6 Cross Validation

Based on the results of research that has been carried out in the case of employee performance appraisal by applying the Naïve Bayes algorithm and C4.5, the following conclusions can be drawn

1. In predicting Employee Performance Appraisal using Naïve Bayes and C4.5 modeling methods with a total of 50 data, that the Decision Tree (C4.5) method is better at predicting Employee Performance Appraisal at Potensi Utama of University.
2. The implementation of the two classification algorithms was successfully carried out, where the two algorithms provided a fairly good accuracy performance, namely an average $\geq 70\%$. Modeling with the Naïve Bayes Algorithm obtains the highest accuracy value with 6 Fold Cross Validation obtaining the highest average accuracy rate of 78% with a Precision value of 0.798 and and Recall of 0.78. While modeling with the C4.5 Algorithm is able to provide good accuracy values by obtaining an accuracy value of 80% with a Precision value of 0.794 and Recall of 0.80

References

- [1] A. S. Lather, R. Malhotra, P. Saloni, P. Singh, and S. Mittal, "Prediction of employee performance using machine learning techniques," *ACM Int. Conf. Proceeding Ser.*, 2019, doi: 10.1145/3373477.3373696.
- [2] I. A. A. Amra and A. Y. A. Maghari, "Students performance prediction using KNN and Naïve Bayesian," *ICIT 2017 - 8th Int. Conf. Inf. Technol. Proc.*, no. December 2018, pp. 909–913, 2019, doi: 10.1109/ICITECH.2017.8079967.
- [3] A. Alam, D. A. F. Alana, and C. Juliane, "Comparison Of The C.45 And Naive Bayes Algorithms To Predict Diabetes," *Sinkron*, vol. 8, no. 4, pp. 2641–2650, 2023, doi: 10.33395/sinkron.v8i4.12998.
- [4] R. A. Saputra, S. Wasianty, and D. Pribadi, "Information Gain Pada Algoritma C4.5 Untuk Klasifikasi Penerimaan Bantuan Pangan Non Tunai (Bpnt)," *Indones. J. Bus. Intell.*, vol. 4, no. 1, p. 25, 2021, doi: 10.21927/ijubi.v4i1.1757.
- [5] G. Kostopoulos, N. Fazakis, S. Kotsiantis, and K. Sgarbas, "Multi-objective Optimization of C4.5 Decision Tree for Predicting Student Academic Performance," *10th Int. Conf. Information, Intell. Syst. Appl. IISA 2019*, pp. 1–4, 2019, doi: 10.1109/IISA.2019.8900771.
- [6] I. Shingari and D. Kumar, "Predicting Student Performance Using Classification Data Mining Techniques," *Int. J. Comput. Sci. Eng.*, vol. 6, no. 7, pp. 43–48, 2018, doi: 10.26438/ijcse/v6i7.4348.
- [7] Y. Andini, J. T. Hardinata, and Y. P. Purba, "Penerapan Data Mining Terhadap Tata Letak Buku Di Perpustakaan Sintong Bingei Pematangsiantar Menggunakan Metode Apriori," *J. TIMES*, vol. 11, no. 1, pp. 9–15, 2022, doi: 10.51351/jtm.11.1.2022661.
- [8] N. Ketui, W. Wisomka, and K. Homjun, "Using classification data mining techniques for students performance prediction," *ECTI DAMT-NCON 2019 - 4th Int. Conf. Digit. Arts, Media Technol. 2nd ECTI North. Sect. Conf. Electr. Electron. Comput. Telecommun. Eng.*, pp. 359–363, 2019, doi: 10.1109/ECTI-NCON.2019.8692227.
- [9] A. M.O., O. A.O., and W. W.F., "Teachers' Performance Evaluation in Higher Educational Institution using Data Mining Technique," *Int. J. Appl. Inf. Syst.*, vol. 10, no. 7, pp. 10–15, 2016, doi: 10.5120/ijais2016451524.
- [10] D. Fahrudy *et al.*, "Intelligent System for Classification of Student Personality With Naive Bayes Algorithm," *SINTECH (Science Inf. Technol. J.)*, vol. 5, no. 1, pp. 1–9, 2022, doi: 10.31598/sintechjournal.v5i1.969.
- [11] A. Rawat and A. Choubey, "A Survey on Classification Techniques For Text Mining," *Int. Conf.*

- Adv. Comput. Commun. Syst.*, vol. 2, no. 3, pp. 436–443, 2016, doi: 10.17148/IJARCCE.2016.53143.
- [12] Y. A. Gerhana, I. Fallah, W. B. Zulfikar, D. S. Maylawati, and M. A. Ramdhani, “Comparison of naive Bayes classifier and C4.5 algorithms in predicting student study period,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1280, no. 2, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1280/2/022022.
- [13] M. Kartiwi, T. Gunawan, T. Arundina, and M. Omar, “Decision tree optimization for Sukuk rating prediction,” *J. Fundam. Appl. Sci.*, vol. 10, no. 2S, pp. 323–332, 2018, doi: 10.4314/jfas.v10i2s.25.
- [14] M. Sadikin, R. Rosnelly, and T. Surya Gunawan, “Perbandingan Tingkat Akurasi Klasifikasi Penerimaan Dosen Tetap Menggunakan Metode Naive Bayes Classifier dan C4.5,” *J. Media Inform. Budidarma*, vol. 4, no. 4, pp. 1100–1109, 2020, doi: <http://dx.doi.org/10.30865/mib.v4i4.2434>.
- [15] C. Anam and H. B. Santoso, “Perbandingan Kinerja Algoritma C4 . 5 dan Naive Bayes untuk Klasifikasi Penerima Beasiswa,” *J. Ilm. Ilmu-Ilmu Tek.*, vol. 8, no. 1, pp. 13–19, 2018, [Online]. Available: <https://ejournal.upm.ac.id/index.php/energy/article/view/111/449>
- [16] Siswanto, Abdussomad, W. Gata, N. K. Wardhani, G. Gata, and B. H. Prasetyo, “The feasibility of credit using C4.5 algorithm based on particle swarm optimization prediction,” *Int. Conf. Electr. Eng. Comput. Sci. Informatics*, pp. 416–421, 2019, doi: 10.23919/EECSI48112.2019.8977074.
- [17] T. Rosandy, “Perbandingan Metode Naive Bayes Classifier dengan Metode Decision Tree Untuk Menganalisa Kelancaran Pembiayaan,” *J. TIM Darmajaya*, vol. 02, no. 01, pp. 52–62, 2016.
- [18] V. R. Sajja, P. J. Lakshmi, D. B. Naik, and H. K. Kalluri, “Prediction of student performance using decision tree classifier,” *Int. J. Eng. Adv. Technol.*, vol. 8, no. 6, pp. 247–255, 2019, doi: 10.35940/ijeat.E7520.088619.
- [19] M. S. Menaka and D. G. Kesavara, “A STUDY ON E-LEARNING SYSTEM TO ANALYSE STUDENT PERFORMANCE USING DATA MINING,” *JETIR*, vol. 6, no. 4, pp. 75–81, 2019, doi: 10.13140/RG.2.2.33861.40164.
- [20] A. N. Kholifah and N. Insani, “Analisis Klasifikasi Pada Nasabah Kredit Koperasi X Menggunakan Decision Tree C4. 5 Dan Naive Bayes,” *J. Pendidik. Mat. dan Sains*, vol. 5, no. 6, pp. 1–8, 2016.

Analisis Barang Bukti Pada Aplikasi Whatsapp Menggunakan FTK Imager di Kelas Teknik Komputer Universitas Bina Darma

Rahmat Novrianda Dasmen¹⁾, Muhammad Fikri²⁾, Rasmila³⁾, Habib Elfariz Tritama⁴⁾,
M. Rizky Aulia⁵⁾, KMS M. Okta Agung Saputra⁶⁾

^a Fakultas Vokasi, Program Universitas Bina Darma, Indonesia, Indonesia

¹rahmatnovrianda@binadarma.ac.id

²muhammadfikri040701@gmail.com

³rasmila@binadarma.ac.id

⁴habibelfariz@gmail.com

⁵rizkyaulia0319@gmail.com

⁶kmsmoas03@gmail.com

Abstract

Technological advances have both positive and negative impacts, including facilitating communication and increasing the risk of cyberbullying, especially among children and adolescents. This study analyzes the impact of the WhatsApp application on cyberbullying in Indonesia using digital forensic methods. The researchers developed scenarios to identify cyberbullying perpetrators in WhatsApp chat groups, utilizing forensic tools such as FlashDisk and FTK Imager. The analysis process involves collecting, examining, and analyzing cyberbullying-related images, focusing on the size, file name, and width of the image. Forensic data is collected and analyzed through three stages: collection, processing, and storage. The findings show the existence of two images associated with cyberbullying activity, in accordance with the NIST methodology. This study suggests that other forensic methods be explored in further research.

Keywords: FTK Imager, Forensic, Cyberbullying, Whatsapp, NIST

1. Pendahuluan

Perkembangan dan perluasan teknologi informasi dan komunikasi yang sangat pesat saat ini telah memberikan berbagai dampak positif dan negatif. Salah satu dampak positif dari kemajuan teknologi informasi dan komunikasi adalah semakin mudahnya orang mendapatkan dan menggunakan informasi, serta berkomunikasi dengan orang-orang di seluruh dunia. [1]. Namun, teknologi informasi ini dapat membawa kerugian dalam bentuk hasil yang tidak diinginkan, salah satunya adalah berkembangnya cyberbullying antara anak-anak dan orang dewasa. Cyberbullying adalah jenis bullying baru yang mirip dengan bullying di dunia nyata dalam hal karakteristik dan efeknya. Cyberbullying didefinisikan sebagai perilaku rekayasa relasional yang merusak yang ditujukan kepada orang atau kelompok melalui penggunaan teknologi informasi dan komunikasi [2]. Penindasan siber dapat terjadi melalui perantara seperti pesan yang berisi komentar yang tidak menyenangkan, yang dapat meningkat menjadi perilaku penindasan. [3]. Cyberbullying memiliki bentuk diantaranya flaming (pesan dengan amarah), harassment (gangguan), denigration (pencemaran nama baik), impersonation (peniruan), outing (penyebaran), trickery (tipu daya), exclusion (pengucilan) dan cyberstalking (penguntitan) [4].

WhatsApp sebagai salah satu platform komunikasi yang paling banyak digunakan di Indonesia, sering kali menjadi alat dalam kasus cyberbullying [5]. Bukti-bukti seperti pesan, gambar, dan video yang dikirim melalui aplikasi ini dapat membantu mengidentifikasi pelaku. Oleh karena itu, penggunaan teknik forensik digital untuk menganalisis data dari aplikasi WhatsApp sangat penting dalam proses investigasi [6]. Forensik digital adalah proses investigasi kejahatan yang berfokus pada objek atau bukti yang diperoleh melalui sistem komputer. Dalam proses penyidikan, berbagai alat digunakan, khususnya dalam investigasi digital. Perangkat lunak digunakan untuk pemulihan data (recovery) guna menemukan barang bukti digital yang dapat mendukung penyelidikan, serta sebagai alat bukti yang akan membantu proses persidangan dalam kasus pidana [7]. Salah satu tantangan dalam menghadapi kejahatan di dunia digital adalah sulitnya mendeteksi secara fisik, sehingga diperlukan analisis digital untuk mengidentifikasinya. Bukti-bukti yang ditinggalkan oleh pelaku terus berkembang menuju bentuk kejahatan asimetris, di mana penjahat siber mampu melakukan kejahatan dengan menggunakan taktik

yang semakin canggih [8]. Hasil dari kejahatan digital umumnya disembunyikan dalam media penyimpanan agar dapat digunakan di kemudian hari. Namun, untuk menutupi dan menghilangkan jejak, pelaku kejahatan siber cenderung menghapus, menyembunyikan, atau memformat seluruh data yang mereka kumpulkan selama melakukan kejahatan [9].

Studi ini berfokus pada penggunaan alat forensik digital seperti FTK Imager untuk mengumpulkan dan menganalisis bukti digital terkait cyberbullying. FTK Imager memungkinkan para peneliti untuk mengambil dan memproses data digital, sehingga bukti yang ditemukan dapat digunakan dalam proses hukum. Penelitian ini bertujuan untuk memperjelas peran forensik digital dalam mengatasi cyberbullying, terutama di platform komunikasi yang digunakan secara luas seperti WhatsApp [10]. Sebuah penelitian yang berjudul Analisis Bukti pada Aplikasi Whatsapp Menggunakan FTK Imager di Kelas Teknik Komputer Universitas Bina Darma dilakukan berdasarkan Penggunaan metode NIST bertujuan untuk membantu dan mempermudah penyidik dalam memahami alur investigasi secara sistematis dan terstruktur. Metode ini dapat berfungsi sebagai panduan yang efektif dalam menyelesaikan berbagai permasalahan yang dihadapi selama proses investigasi [11].

2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini peneliti membuat sebuah skenario fiktif sendiri yaitu berdasarkan kasus cyberbullying yang sering terjadi melalui aplikasi whatsapp. Dimana si pelaku mulai melakukan mengirimkan gambar dan pesan yang merendahkan korban melalui aplikasi whatsapp, pesan-pesan tersebut termasuk ejekan terhadap penampilan fisik. Pada penelitian ini korban akan melakukan pelaporan terhadap pelaku yang melakukan cyberbullying kepada diri di grup tersebut. Bukti tangkapan layar isi percakapan di grup yang nantinya akan dijadikan sebuah barang bukti. Barang bukti itu disimpan ke dalam sebuah flashdisk, kemudian pelaku mengambil flashdisk tersebut dan menghapus bukti digital tangkapan yang diambil korban. Untuk mengembalikan bukti tersebut menggunakan bantuan tools forensic yaitu FTK Imager. Untuk proses pengembalian bukti digital tersebut perlu adanya sebuah sistem. Peneliti mengacu menggunakan metode NIST untuk mengembalikan tangkapan layar di whatsapp yang tersimpan flashdisk korban. Metode berikut menjelaskan bagaimana alur tahapan metode menggunakan NIST sehingga dapat dilakukan suatu langkah penelitian secara terperinci sehingga dapat digunakan untuk panduan dalam menyelesaikan suatu persoalan yang ada [12]. Pada metode ini terdapat langkah-langkah forensik yang digunakan dan dapat dilihat pada gambar 1.

Penjelasan pada gambar alur metode National Institute of Standards and Technology (NIST), yaitu Collection, Examination, Analysis, dan Reporting sebagai berikut.



Gambar 1. Alur Metode Menggunakan NIST

a. Collection

Pada tahap ini, bukti digital berupa tangkapan layar obrolan grup WhatsApp yang disimpan di flashdisk korban diidentifikasi dan diamankan. FTK Imager digunakan untuk melakukan akuisisi data digital tanpa mengubah integritas asli dari bukti tersebut. FTK Imager memungkinkan peneliti untuk melakukan imaging, yaitu membuat salinan bit-per-bit dari flashdisk untuk memastikan bahwa bukti asli tetap utuh dan tidak berubah selama proses analisis.

b. Examination

Setelah koleksi bukti selesai, tahap pemeriksaan dilakukan dengan tujuan mengekstraksi data dari disk image yang telah dibuat. FTK Imager memungkinkan peneliti untuk menelusuri isi dari image tanpa mengubah file asli. Di sini, integritas data tetap dijaga, dan seluruh proses dapat dilakukan dengan hati-hati untuk menghindari kerusakan atau perubahan pada bukti digital.

c. Analysis

Setelah data diperiksa dan bukti yang relevan ditemukan, tahap analisis dilakukan untuk mengevaluasi dan menginterpretasikan data guna menjawab pertanyaan hukum atau investigatif. FTK Imager

memungkinkan peneliti untuk meninjau kembali file gambar yang terlibat dalam kasus cyberbullying. Pada tahap ini, gambar yang diambil sebagai tangkapan layar dari grup WhatsApp dianalisis untuk mengidentifikasi apakah gambar tersebut terkait dengan tindakan bullying. FTK Imager menyediakan fitur untuk menyusun timeline (linimasa) dari aktivitas file. Ini membantu dalam mengidentifikasi kapan gambar tersebut dikirimkan, dihapus, atau diubah. Penggunaan fitur pencarian kata kunci pada FTK Imager memungkinkan peneliti mencari pesan atau gambar yang mengandung kata-kata ejekan atau penghinaan terhadap korban.

d. Reporting

Setelah analisis selesai, peneliti melaporkan hasil temuan dengan mendokumentasikan seluruh langkah yang diambil, alat yang digunakan, serta bukti yang ditemukan. FTK Imager dapat menghasilkan laporan forensik otomatis yang merinci proses pengumpulan bukti, gambar yang dipulihkan, dan hasil analisis lainnya. Laporan ini termasuk hash value untuk setiap file dan salinan gambar untuk membuktikan bahwa data tersebut valid dan tidak berubah. Laporan mencakup semua temuan yang dihasilkan dari analisis gambar dan pesan yang terkait dengan tindakan cyberbullying. Hal ini penting dalam proses hukum untuk menguatkan bukti di pengadilan.

Dengan penggunaan FTK Imager yang tepat, penelitian ini dapat memberikan hasil yang valid dan andal dalam mengembalikan serta menganalisis bukti digital terkait cyberbullying di WhatsApp, memperkuat langkah-langkah forensik yang diterapkan.

3. Hasil

Investigasi tersebut menghasilkan data forensik yang dijadikan sumber pemikiran dalam proses hukum. Proses pengumpulan barang bukti digital dilakukan melalui perangkat Flash Disk dan menggunakan alat forensik FTK Imager. Di bawah ini adalah hasil yang diperoleh. Berikut Tabel 1 nama barang, spesifikasi, dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini.

| No | Nama Item | Spesifikasi |
|----|------------|-----------------------------|
| | Komputer | HP 14s-fq0562AU - Silver |
| | SanDisk | 32gb |
| | WhatsApp | Aplikasi Android |
| | FTK Imager | Alat Forensik |

3.1 Collection

Pada tahap collection menggunakan hardware SanDisk. SanDisk yang digunakan dalam penelitian ini berkapasitas 32 GB untuk menampung 3 foto bukti cyberbullying.

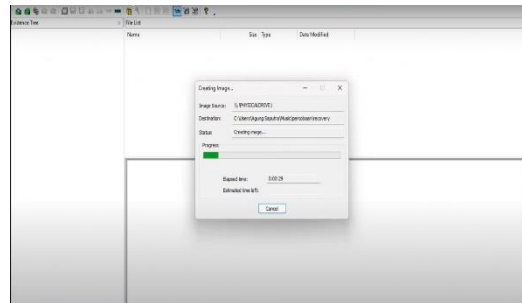


Gambar 2. SanDisk yang digunakan

Pada gambar 2. menunjukkan SanDisk yang akan digunakan dalam penelitian ini. Pada tahapan Collection ini tempat terjadinya penghapusan dan juga tempat pengembalian foto barang bukti cyberbullying, dan berlanjut ke tahap peninjauan.

3.2 Examination

Tahap pengujian meliputi pemeriksaan perangkat keras komputer menggunakan alat forensik yang disediakan. Tahap otopsi membuat gambar dan dilakukan pada sistem menggunakan alat forensik. Dalam penelitian ini digunakan alat forensik FTK Imager. Gambar 3. menunjukkan proses pemeriksaan menggunakan alat forensik FTK Imager.

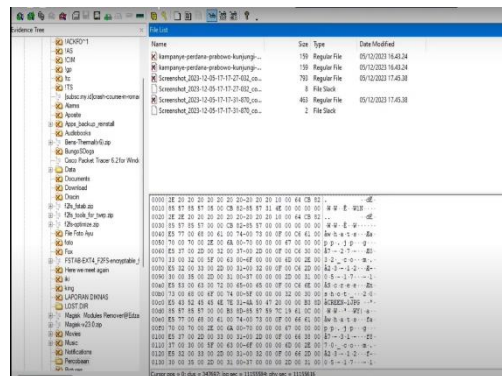


Gambar 3. Examination tools forensic

Kemudian, setelah proses pencitraan selesai, menghasilkan file atau laporan lengkap sebagai folder yang di dalam nya ada jpg barang bukti cyberbullying.

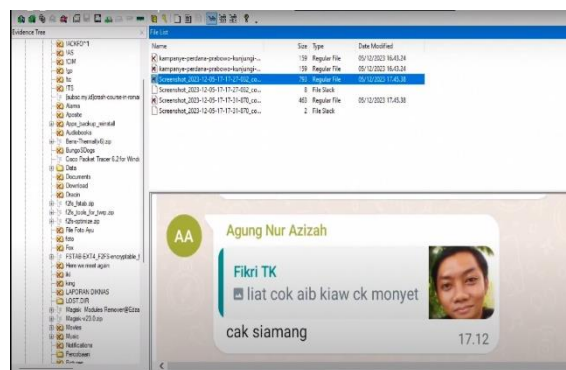
3.3 Analysis

Selama analisis berikut, beberapa bukti akan ditemukan dari alat forensik FTK Imager. Ini adalah bukti apa pun yang ditemukan menggunakan alat forensik yang digunakan.



Gambar 4. Hasil Image Tools Forensik

Gambar 4. Hasil pencarian yang dilakukan alat FTK Imager menghasilkan data gambar sebanyak 2 gambar yang masing-masing memiliki ukuran, nama file dan lebar yang berbeda.



Gambar 5. Hasil barang bukti

Gambar 5. hasil dari berhasil nya pengembalian barang bukti image cyberbullying dengan menggunakan tools forensic FTK Imager.

Gambar yang terdapat berupa ejekan verbal yang lebih ringan atau gambar yang sifatnya mengejek secara visual, seperti meme atau foto yang diedit untuk mempermalukan korban.

Gambar ini secara langsung terkait dengan perilaku cyberbullying. Dalam konteks ini, gambar pertama mungkin menampilkan *denigration* (pencemaran nama baik) yang mengandung ejekan terkait penampilan fisik korban. Sementara gambar kedua bisa berhubungan dengan *outing* atau *trickery*, di mana informasi pribadi korban disebarluaskan atau diungkapkan tanpa izin di dalam grup, yang bertujuan mempermalukan korban di hadapan orang lain.

3.4 Reporting

Langkah pelaporan ini menjelaskan langkah-langkah hasil analisis yang dilakukan pada tahap analisis, serta hasil alat investigasi yang dapat dikelompokkan ke dalam tabel sebagai berikut.

Tabel 2. Hasil FTK Imager

| NO | Parameter yang dicari | Tools Forensic |
|----|-----------------------|----------------|
| | Image | Yes |

Saat ini, skrip pembuatan gambar SanDisk dilakukan menggunakan alat forensik FTK Imager dan gambar dapat ditampilkan menggunakan alat forensik tersebut. Dengan menggunakan FTK Imager, peneliti berhasil memulihkan kedua gambar ini meskipun telah dihapus oleh pelaku. Proses pemulihan dilakukan dengan teknik data carving, di mana FTK Imager mengekstrak data yang masih tersisa di flashdisk meskipun file tersebut sudah tidak terlihat dalam file sistem. Setelah gambar ditemukan, FTK Imager memastikan integritas data melalui verifikasi hash value, memastikan bahwa gambar yang dipulihkan merupakan salinan yang valid dan tidak terubah dari file aslinya.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan menggunakan data forensik untuk mengembalikan gambar bukti tangkapan layar cyberbullying di grup chat yang tersimpan di flashdisk menggunakan alat forensik FTK Imager. Data dikumpulkan dan diolah melalui tiga tahap yaitu Pengumpulan, Pemeriksaan, dan Pelaporan. Penyimpanan menggunakan SanDisk 32GB untuk menyimpan tangkapan layer gambar cyberbullying. Pemeriksaan menggunakan perangkat keras laptop dengan alat FTK Imager untuk membuat mengembalikan data. Pelaporan menggunakan SanDisk untuk membuat gambar dengan ukuran, nama file, dan lebar berbeda. Proses analisis meliputi pembuatan gambar menggunakan alat FTK Imager dan menganalisis gambar. Laporan ini merangkum temuan analisis dan alat forensik yang digunakan. Hasil yang didapatkan di dalam penggunaan tools forensic FTK Imager terdapat 2 image barang bukti cyberbullying dengan menggunakan metode National

Institute Of Standards Technology (NIST). Saran untuk penelitian lebih lanjut dapat membandingkan metode yang digunakan dan menggunakan alat forensic lainnya.

Referensi

- [1] YUDHANA, A., RIADI, I., ZUHRIYANTO, I., & DAHLAN, A. (2019). Analisis Live Forensics Aplikasi Media Sosial Pada Browser Menggunakan Metode Digital Forensics Research Workshop (DFRWS). 20(2), 125–130. <http://jurnalnasional.ump.ac.id/index.php/Techno>
- [2] BARUS, R. K. I. (2019). Korban Cyberbullying, Siapakah? JURNAL SIMBOLIKA: Research and Learning in Communication Study, 5(1), 35. <https://doi.org/10.31289/simbollika.v5i1.2301>
- [3] WIDIANDANA, P., IMAM RIADI, & SUNARDI. (2020). Implementasi Metode Jaccard pada Analisis Investigasi Cyberbullying WhatsApp Messenger Menggunakan Kerangka Kerja National Institute of Standards and Technology. Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem Dan Teknologi Informasi), 4(6), 1046–1051.
- [4] SYAH, R., & HERMAWATI, I. (2018). The Prevention Efforts on Cyberbullying Case for Indonesian Adolescent Social Media Users. Jurnal PKS, 17(2), 131–146. <https://doi.org/10.31105/jpks.v17i2>
- [5] HARIANI. (2017). Analisis Bukti Digital Cyberbullying Pada Jejaring Sosial Menggunakan Naive Bayes Classifier (NBC). In Yogyakarta, Maret, 2017. Universitas Islam Indonesia.
- [6] Majalista, R., & Sutabri, T. (2023). ANALISIS PENCARIAN DATA SMARTPHONE MENGGUNAKAN NIST UNTUK PENYELIDIKAN DIGITAL FORENSIK. Jurnal Informatika Teknologi dan Sains (Jinteks), 5(1), 81-85.
- [7] Julianto, M., & Servanda, Y. (2024). Kajian Literatur: Analisis Perbandingan Efektivitas Tools Forensik Recovery Data Pada Smartphone Android. *Jurnal Sains Dan Teknologi (JSIT)*, 4(2), 181–188. <https://doi.org/10.47233/jsit.v4i2.1830>
- [8] Analisis Bukti Digital Forensik pada Aplikasi Threads Menggunakan Metode Digital Forensic Research Workshop. (2024). *Jurnal Informatika Komputer, Bisnis Dan Manajemen*, 22(2), 1-10. <https://doi.org/10.61805/fahma.v22i2.118>
- [9] Matondang, J., Maulana, I., & Carudin, C. (2023). Analisis Perbandingan Perangkat Lunak Forensik Digital File Carving Menggunakan NIST. *Innovative: Journal Of Social Science Research*, 3(4), 2154–2165. Retrieved from <https://j-innovative.org/index.php/Innovative/article/view/3708>
- [10] Sidik, M. (2023). ANALISIS INTEGRITAS BUKTI DATA DIGITAL EVIDENCE PADA HASIL PROSES AKUISISI DATA PORTABLE STORAGE MENGGUNAKAN METODE NATIONAL INSTITUTE OF JUSTICE (NIJ) (Doctoral dissertation, Universitas Siliwangi).
- [11] Agustiono, W., Suci, D., & Prastiti, N. (2024). Analisis Forensik Digital Menggunakan Metode NIST untuk Memulihkan Barang Bukti yang Dihapus. *Jurnal Teknologi Dan Informasi*, 14(2), 174-185. <https://doi.org/10.34010/jati.v14i2.12952>
- [12] Bintang, R. A., Umar, R., & Yudhana, A. (2020). Analisis Media Sosial Facebook Lite dengan tools Forensik menggunakan Metode NIST. *Techno (Jurnal Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Purwokerto)*, 21(2), 125. <https://doi.org/10.30595/techno.v21i2.8494>

Analisis Klasifikasi Citra Karakteristik Topeng Bali Menggunakan Model InceptionV3 Dan MobileNetV2

Ni Putu Widya Yuniari^{a1}, I Made Surya Kumara^{a2}, I Kadek Agus Wahyu Raharja^{a3},
I Made Adi Bhaskara^{a4}, I Gede Wira Darma^{a5}, Gde Wikan Pradnya Dana^{a6}

^aProgram Studi Teknik Komputer, Fakultas Teknik Dan Perencanaan
Universitas Warmadewa
Denpasar, Indonesia

¹widyayuniari2010@gmail.com

Abstract

Bali is one of the provinces with quite complex cultural diversity in Indonesia. One of them is the characterization of traditional masks. Traditional masks in Balinese tradition are not only intended as performance accessories, but also as symbols of characterization, social status in indigenous communities, rites, and certain primordial activities. Every detail in the curve of the carving on the Balinese mask indicates an aesthetic richness that is certainly measurable as an ontological entity. In this case, the magnitude of this aesthetic measurability can be assisted by using various computational methods. This study tries to create a machine learning model with supervised learning to create a classification system for Balinese mask characterization. The methods used include: processing mask images into a 3-dimensional vector, each representing the red, green and blue color indices. Then each vector will go through a training process to create a measurability model for each characterization. The models used are InceptionV3 and MobileNetV2 which are developments of convolutional models. The performance measurement metrics used are Accuracy, Precision, Recall & F1-Score. The InceptionV3 model produced an accuracy of 88,57%, while the MobileNetV2 model produced an accuracy of 74,28%.

Keywords : Bali, Classification, InceptionV3, Mask, MobileNetV2

1. Pendahuluan

Bali merupakan salah-satu provinsi yang memiliki kekayaan budaya dan tradisi yang paling kompleks sekaligus Indonesia. Kekayaan ini salah-satunya termanifestasikan dalam Indeks Pembangunan Kebudayaan (IPK) yang mencatat nilai tertinggi jika dibandingkan dengan seluruh Provinsi Di Indonesia. Pada tahun 2023, Indeks Pembangunan Kebudayaan Bali mencatat angka 71,36 point yang meningkat dari tahun sebelumnya sebesar 66,04 point [1]. Nilai ini bahkan lebih tinggi dari rata-rata nasional yang mencatatkan indeks sebesar 57,13 point dan juga lebih tinggi dari Daerah Istimewa Yogyakarta yang masih kental dengan adat dan budaya feodalisme Jawa dengan indeks sebesar 67,90 [2]. Angka ini secara kolektif mengkonfirmasi kekayaan adat dan budaya Bali sekaligus mengkonfirmasi bahwa terdapat kemungkinan masih banyak lagi kebudayaan di Bali yang belum terdokumentasikan dengan baik.

Salah satu komponen penting dalam Indeks Pembangunan Kebudayaan adalah ekspresi budaya dalam keseharian masyarakat. Ekspresi budaya ini kemudian termanifestasikan dalam berbagai bentuk ritus adat dan keseharian masyarakat di Bali, salah-satunya adalah topeng tradisional Bali. Topeng dalam antropologi masyarakat Bali tidak hanya merupakan sebuah aksesoris ritus dalam dramateri Bali, melainkan juga sebuah tanda yang melambangkan penokohan manusia melalui pemaknaan tokoh-tokoh tertentu [3]. Dalam artian lain, topeng Bali merupakan representasi emosi, status sosial, serta perasaan-perasaan terdalam dari para pengukirnya [4]. Jenis-jenis topeng bali pun sangat beragam, antara lain: topeng barong, topeng rangda, topeng jangda, topeng jauk, topeng ratu, dan berbagai jenis topeng lainnya [5].

Kajian tentang topeng Bali tidak hanya terbatas pada kajian-kajian antropologis dan kultural semata, melainkan terdapat kajian yang lebih artistik dengan pendekatan estetika [6]. Estetika sendiri adalah sebuah ilmu tentang keindahan. Dalam artian lain, estetika dapat diidentifikasi secara empiris [7]. Kajian empiris pada topeng tradisional Bali ini dapat dilihat dalam bentuk indeks warna dan kurva dari setiap detail pahatan yang terbentuk. Hal ini dikarenakan sebuah citra pada dasarnya adalah sebuah manifestasi dari gerakan tangan dan insting yang terukur dari sang pengukir.

Salah-satu metode yang dapat digunakan dalam mengukur rupa citra dalam konteks estetika topeng tradisional Bali adalah metode komputasi (*computational study*). Dalam kajian yang lebih mutakhir, teknik perhitungan ini dapat dilakukan dengan menggunakan bantuan Kecerdasan Buatan (AI) [8]. Hal ini sangat dimungkinkan mengingat bahwa citra sebagai sebuah gambar sejatinya adalah bit-bit data yang membedakannya antara satu data dengan yang lain. Dengan memahami pola-pola tersebut, metode komputasi dapat dengan mudah membedakan, mengidentifikasi, serta mengklasifikasinya dalam berbagai pendekatan. Hal ini tentunya menjadi urgensi yang lain dalam pengembangan serta pendokumentasian kebudayaan di Bali dimana kita perlu untuk melakukan pendokumentasian dalam bentuk model-model kecerdasan buatan sebagai tolak ukur kebudayaan. Hal ini tentunya untuk menghindari bias budaya, menguatkan citra budaya serta mencegah pengakuan dari negara lain yang tidak mendasar.

Pendekatan identifikasi citra karakter pada topeng Bali menggunakan kecerdasan buatan dapat dikatakan sebagai sebuah metode yang baru. Hal ini terkait dengan pendokumentasian data yang belum banyak dilakukan. Sehingga belum banyak ditemukan studi terkait. Salah satu studi terbaru (*recent study*) dalam pengidentifikasian topeng tradisional Bali yang dapat dijadikan sebagai acuan menggunakan bantuan kecerdasan buatan, dilakukan oleh Nugraha dkk pada tahun 2023. Studi ini melakukan serangkaian rekognisi pada topeng bali menggunakan model VGG16. Studi ini bertujuan untuk mendapatkan insight tentang nama dan makna budaya yang melekat pada topeng Bali secara programatic. Hal ini mengingat banyaknya topeng bali yang beredar namun memiliki kesamaan yang kompleks secara geometris. Pola geometris itulah yang nanti akan dibaca oleh sistem sebagai sebuah vektor. Studi ini mencoba untuk mengatasi masalah kompleksitas geometris pada topeng Bali dengan mengembangkan sistem Kecerdasan Buatan (AI) yang terintegrasi ke dalam aplikasi seluler menggunakan metode CNN (VGG-16). Hal ini mampu memudahkan pengguna dalam mengidentifikasi pemaknaan topeng bali dari berbagai model bahkan model ukiran-ukiran terbaru sekalipun [9].

Model dan pendekatan yang sama juga pernah digunakan pada penelitian yang dilakukan oleh Banjaransari dkk pada tahun 2023. Perbedaannya terdapat pada objek kajian berupa wayang tradisional. Penelitian ini mencoba membuat sebuah model klasifikasi citra penokohan wayang menggunakan VGG16 dan MobileNetV2. Penelitian ini mendapatkan hasil pada model MobileNetV2 precision sebesar 95%, recall 94%, f1-score 94% dan akurasi 94,17% [10].

Studi lain terkait klasifikasi karakteristik topeng bali dilakukan oleh Budiarta & Wiharta pada tahun 2021. Studi ini menggunakan metode bag of visual word dalam proses klasifikasi karakter topeng Bali. Pada metode ini terdapat beberapa algoritma yang digunakan untuk kemudian dilakukan assembling, antara lain: SURF sebagai deteksi fitur, K-Means sebagai proses clustering untuk mendapatkan nilai kuantisasi fitur, dan SVM sebagai klasifikasi karakter topeng Bali. Penelitian ini mendapatkan nilai akurasi sebesar 80% [11].

Pendekatan yang lebih baik dilakukan oleh Cao dkk pada tahun 2021 yang menggunakan model InceptionV3 untuk melakukan pengenalan dan rekognisi pada citra penokohan objek kajian kebudayaan beberapa dinasti di Republik Rakyat Tiongkok. Penelitian ini membandingkan beberapa objek tokoh dari beberapa mural dan mengklasifikasinya pada beberapa dinasti. Penelitian ini mendapatkan akurasi sebesar 88,4% [12].

Dari berbagai penelitian terdahulu dapat dikatakan bahwa merekognisi citra penokohan topeng dapat menjadi salah satu media baru dalam pendokumentasian budaya dalam bentuk bit-bit data. Sehingga terjadi alih wahana dari bentuk real menjadi bentuk komputasi. Data-data rekognisi ini kemudian dapat digunakan untuk berbagai keperluan seperti: pembuatan modal 3D dan pembuatan Augmented Reality. Lebih jauh setiap data-data citra juga dapat menjadi standar pendokumentasian yang membedakan satu bentuk ekspresi budaya dengan yang lainnya, sehingga hal ini diharapkan mampu menekan bentuk-bentuk pembajakan, plagiasi, maupun pengakuan identitas dari negara lain.

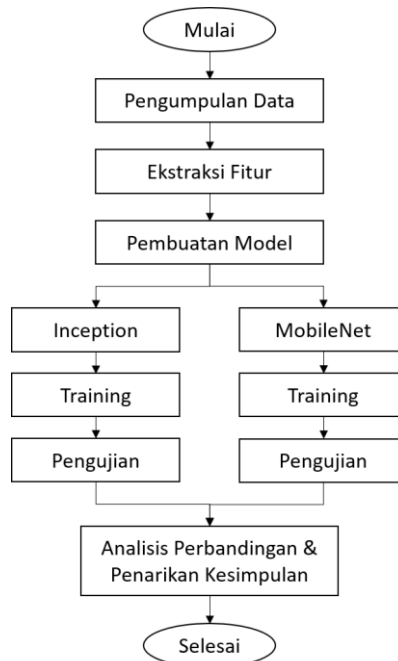
Berdasarkan dari urgensi tersebut, penelitian ini akan membuat sebuah model pengolahan citra berupa model klasifikasi beberapa citra penokohan topeng Bali dengan menggunakan kecerdasan buatan. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya, ditemukan bahwa kinerja model InceptionV3 memberikan hasil yang baik berdasarkan pada tingkat akurasi pada model klasifikasi citra penokohan wayang [12] sementara model MobileNetV2 juga memberikan hasil yang baik berdasarkan pada tingkat akurasi pada citra penokohan objek kajian kebudayaan beberapa dinasti di Republik Rakyat Tiongkok [10]. Berdasarkan hal tersebut penelitian ini akan membandingkan unjuk kerja dari model InceptionV3 & MobileNetV2 untuk model klasifikasi beberapa citra penokohan topeng Bali. Diharapkan nantinya penelitian ini dapat menjadi rujukan, baik untuk penelitian selanjutnya maupun bagi para

pemangku kepentingan dalam pemanfaatan teknologi kecerdasan buatan dalam pendokumentasian, pelestarian dan alih wahana baru kebudayaan khususnya di Provinsi Bali.

2. Metodologi Penelitian

2.1 Alur Penelitian

Adapun diagram alir dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Penelitian

Dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa penelitian ini dimulai dengan mengumpulkan dataset yang berasal dari penelitian sebelumnya, kemudian dilanjutkan dengan proses ekstraksi fitur yang bertujuan mengubah bentuk citra menjadi bentuk vektor numeric. Kemudian dilanjutkan dengan proses pembuatan model. Model yang digunakan dalam penelitian ini adalah model InceptionV3 & MobileNetV2. Lalu kemudian dilanjutkan dengan proses training menggunakan 25 iterasi (epoch) dan diakhiri dengan proses pengujian, analisis perbandingan dan penarikan kesimpulan. Bahasa pemrograman yang digunakan pada penelitian ini seluruhnya menggunakan Python dengan library dari tensorflow. Adapun notebook yang digunakan untuk melakukan pemrograman adalah Google Colab.

2.2 Teknik Pengumpulan Data

Dataset yang digunakan adalah dataset topeng pajegan bali oleh Surya Pradan yang dapat diakses pada platform kaggle pada url: <https://www.kaggle.com/datasets/suryapradana/balinese-mask>.



Gambar 2. Dataset Topeng (Dari Kiri Ke Kanan, Atas Ke Bawah): Topeng Bujur, Topeng Dalam, Topeng Keras, Topeng Pemasar, Topeng Sidakarya, Topeng Tua & Topeng Wijil

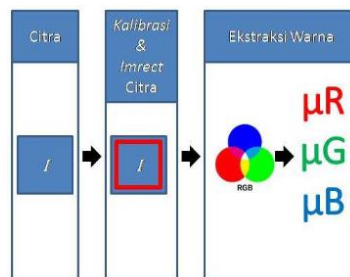
Dataset ini berisi kumpulan gambar dari topeng pajegan bali yang diklasifikasikan menjadi 7 buah label, yaitu: topeng bujur, topeng dalam, topeng keras, topeng pemasar, topeng sidakarya, topeng tua, dan topeng wijil. Masing-masing data memiliki 50 buah gambar. Beberapa contoh gambar topeng bali yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.

Sekilas, secara visual beberapa jenis topeng memiliki kesamaan rupa, seperti pada topeng dalam dan topeng keras, lalu pada topeng pemasar dengan topeng wijil. Namun kesemua topeng tersebut adalah jenis penokohan topeng yang berbeda. Disinilah model-model komputasi menjadi penting untuk dapat menjadi pembeda yang empiris diantara penokohan topeng-topeng tersebut.

2.3 Teknik Ekstraksi Fitur

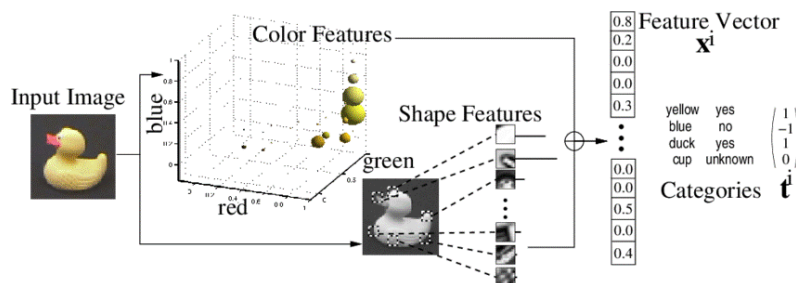
Ekstraksi fitur adalah proses mengubah data dalam bentuk apapun (dalam hal ini berupa citra gambar) menjadi bentuk vektor numerik yang dapat dibaca oleh program [13]. Dalam terminologi pengolahan citra, proses ini sering disebut dengan image processing. Metode ekstraksi fitur yang digunakan adalah image to vector. Pada proses ini gambar akan diekstraksi langsung menjadi vektor menggunakan indeks warna [14].

Tahap pertama, ukuran gambar akan disesuaikan menjadi 150 pixel x 150 pixel untuk menyamakan node-node pengambilan indeks warna. Kemudian pada setiap pixel akan dilakukan proses color extraction emnggunakan RGB-Extraction. Skema proses RGB-Extraction dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Proses Color Extraction [14]

Proses pada Gambar 3 dilakukan pada semua node pixel data, sehingga menghasilkan sebuah vektor dengan dimensi 150 x 150 x 3 [15]. Keseluruhan proses ekstraksi fitur dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Image to Vector [15]

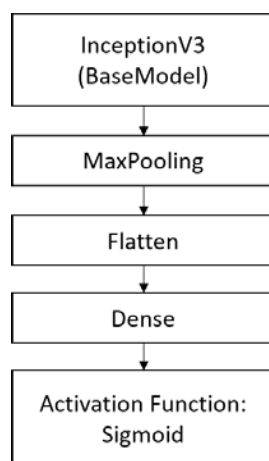
Proses ini kemudian dilakukan pada keseluruhan dataset untuk menghasilkan vektor training.

2.4 Arsitektur Model InceptionV3

Inception adalah sebuah arsitektur model jaringan saraf tiruan (neural network) yang dikembangkan oleh tim Google untuk mengatasi masalah dalam image recognition dan object

detection. Inception dirancang untuk membuat model lebih efisien, cepat, dan akurat dengan cara mengurangi jumlah parameter dan komputasi [16]. Inception masih merupakan keluarga dari model Convolutional Neural Network (CNN) [17]. Versi pertama Inception dikenal dengan GoogleLeNet. Saat ini Inception sudah dikembangkan menjadi V1, V2, V3 & V4.

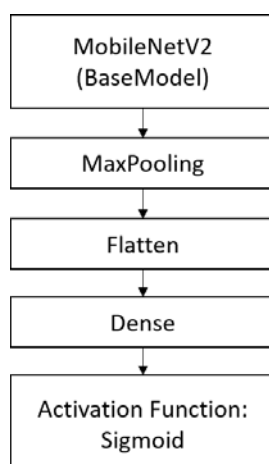
Model Inception yang digunakan dalam penelitian ini adalah model Inception V3. Model ini dipilih karena popularitasnya dalam klasifikasi gambar. Versi Inception V3 memperkenalkan beberapa perbaikan pada stabilitas pelatihan (training) dan efisiensi, termasuk normalisasi batch (batch normalization) serta konvolusi terpisah yang membuatnya lebih reliabel dan hemat akan sumberdaya yang digunakan. Untuk meningkatkan kemampuan pada klasifikasi topeng tradisional Bali, model Inception V3 kemudian direkayasa dengan proses transfer learning dengan menambahkan layer Global Average Pooling dan Dropout layer untuk menghapus node-node yang memiliki kontribusi rendah [18]. Penambahan layer ini diharapkan mampu meningkatkan performansi dan meningkatkan efisiensi pada proses pelatihan [19]. Arsitektur lengkap InceptionV3 yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Arsitektur Rekayasa Model InceptionV3

2.5 Arsitektur Model MobileNetV2

MobileNet adalah arsitektur jaringan saraf tiruan (neural network) yang dirancang oleh Google dengan fokus pada efisiensi komputasi dan kinerja yang baik pada perangkat dengan sumber daya terbatas (minimum resource), seperti smartphone, IoT devices, dan edge computing [20]. MobileNet terkenal karena menggunakan teknik depthwise separable convolution, yang mengurangi jumlah parameter dan operasi komputasi sehingga membuatnya lebih ringan dan dapat diandalkan pada perangkat dengan sumber daya terbatas [21]. Sama seperti Inception, MobileNet juga merupakan pengembangan dari Convolutional Neural Network (CNN). Saat ini, MobileNet memiliki 3 buah versi, yaitu V1, V2 dan V3.



Gambar 6. Arsitektur Rekayasa Model MobileNetV2

Model yang digunakan pada penelitian ini adalah MobileNetV2. Model ini memperkenalkan inverted residual block dan linear bottleneck yang memungkinkan aliran informasi di sepanjang jaringan tanpa kehilangan fitur penting. Teknik inilah yang membuat MobileNetV2 tetap reliable meskipun dengan sumber daya terbatas. Untuk meningkatkan kemampuan pada klasifikasi topeng tradisional Bali, model MobileNetV2 kemudian direkayasa dengan proses transfer learning dengan menambahkan layer Global Average Pooling dan Dropout layer untuk menghapus node-node yang memiliki kontribusi rendah. Sama seperti arsitektur Inception, penambahan layer ini diharapkan mampu meningkatkan performansi dan meningkatkan efisiensi pada proses pelatihan [19]. Arsitektur lengkap MobileNetV2 yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 6.

2.6 Pelatihan Data

Setelah vektor gambar terbentuk melalui proses ekstraksi fitur, dan arsitektur model sudah dibuat, tahapan berikutnya adalah melakukan proses training dari vektor gambar ke dalam model yang sudah dibuat. Proses training dimulai dengan membagi data menjadi data training dan data testing dengan perbandingan 50:50. Data training akan digunakan untuk melakukan proses pelatihan sedangkan data testing akan digunakan sebagai data validasi dan pengujian. Proses training pada model Inception akan dilakukan dengan menggunakan 25 iterasi, sementara pada model MobileNet akan dilakukan dengan 100 iterasi. Hal ini mengacu pada model yang lebih ringkas membutuhkan pelatihan yang lebih banyak.

2.7 Teknik Analisis Data

Analisis data akan dimulai dengan melakukan pengujian pada keseluruhan data testing. Kemudian akan dibandingkan hasil prediksi model dengan label yang sebenarnya. Metric pengukuran pertama yang digunakan adalah confusion matrix. Confusion matrix adalah matriks pengukuran yang membandingkan antara data hasil prediksi dengan data yang sebenarnya pada setiap kelas [22]. Contoh dari confusion matrix dapat dilihat pada Gambar 7.

| | | Classifier Prediction | |
|--------------|----------|-----------------------|----------------|
| | | Positive | Negative |
| Actual Value | Positive | True Positive | False Negative |
| | Negative | False Positive | True Negative |

Gambar 7. Confusion Matrix

Metrik selanjutnya yang digunakan dalam penelitian ini adalah akurasi. Akurasi menyatakan seberapa akurat model memprediksi data apakah positif, negatif, atau netral. Untuk menghitung nilai akurasi dari confusion matrix dapat menggunakan persamaan (1).

$$Acc = \frac{TP+TN}{TP+FP+TN+FN} \quad (1)$$

Metrik selanjutnya yang digunakan dalam penelitian ini adalah precision. Precision membandingkan jumlah data positif yang berhasil diprediksi dibagi dengan jumlah data yang tergolong positif. Untuk menghitung precision dari confusion matrix dapat menggunakan persamaan (2).

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (2)$$

Metrik berikutnya yang digunakan dalam penelitian ini adalah recall. Recall merupakan perbandingan antara jumlah data positif yang berhasil diprediksi dibagi dengan jumlah data yang benar-benar positif. Penarikan kembali menyatakan seberapa baik model memprediksi data positif. Untuk menghitung recall dari confusion matrix dapat menggunakan persamaan (3).

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (3)$$

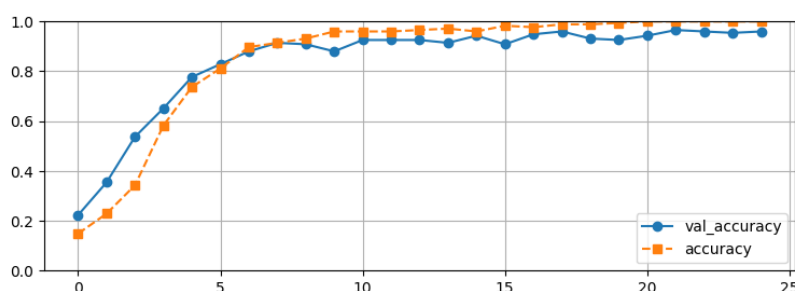
Metrik terakhir yang digunakan dalam penelitian ini adalah F1-Score. F1-Score adalah rata-rata harmonis antara precision dan recall. F1-Score dapat dihitung menggunakan persamaan (4).

$$F1 = \frac{Precision * Recall}{Precision + Recall} \quad (4)$$

3. Hasil & Pembahasan

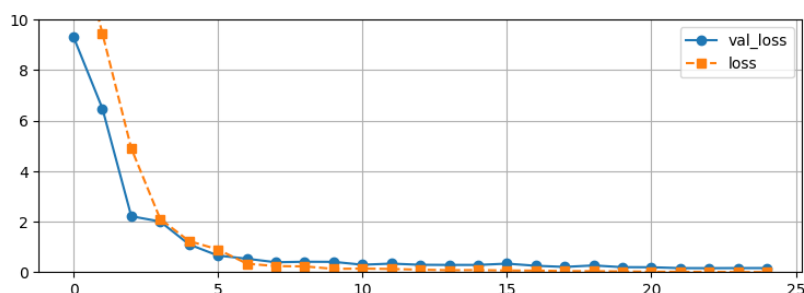
3.1 Model Inception V3

Setelah melakukan proses training pada 25 iterasi, didapatkan trend akurasi menunjukkan peningkatan dan trend loss mengalami penurunan. Hal ini mengindikasikan bahwa proses pembelajaran pada model Inception berlangsung dengan baik. Grafik performa akurasi selama proses training pada model Inception dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Performa Akurasi Selama Proses Training Pada Model InceptionV3

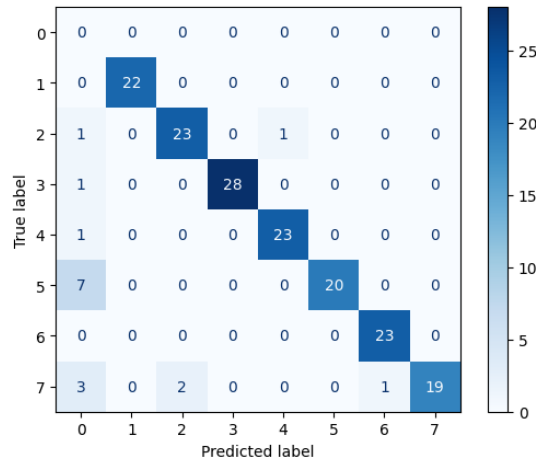
Sementara grafik performa loss selama proses training pada model Inception dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Performa Loss Selama Proses Training Pada Model InceptionV3

Dari Gambar 8 dan Gambar 9 tidak ditemukan indikasi overfitting, sehingga model dapat dikatakan valid dan dapat digunakan.

Setelah melalui proses training, kemudian dilakukan proses pengujian pada model InceptionV3 yang sudah dilatih. Proses ini dilakukan dengan menggunakan data testing yang sudah disiapkan. Confusion matrix dari hasil pengujian model InceptionV3 dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Confusion Matrix Pengujian Model InceptionV3

Dari Gambar 10 dapat dilihat bahwa hampir semua data testing dapat diprediksi dengan baik oleh model. Namun masih terdapat beberapa kesalahan dimana ada satu buah data topeng Tua (label '2') diprediksi sebagai topeng Sidakarya (label '4'). Kemudian juga terdapat 2 data pada topeng Dalem (label '7') yang diprediksi sebagai topeng Tua (label '2') dan terdapat 1 data topeng Dalem (label '7') yang diprediksi sebagai topeng Bujuh (label '6'). Sementara sisa kesalahan ditemukan pada bias dalam menentukan bounding box (label '0').

Dari confusion matrix pada Gambar 10, kemudian dapat dihitung nilai akurasi, precision dan recall pada masing-masing label. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 1.

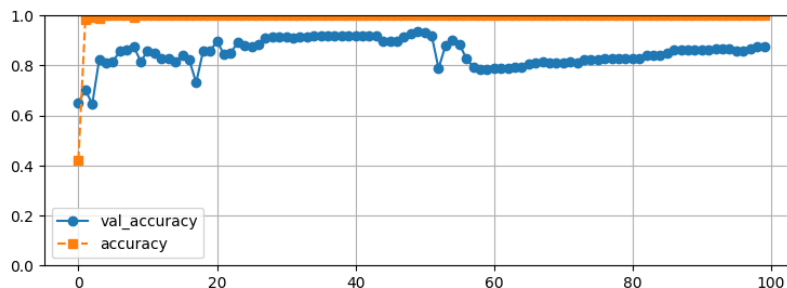
Tabel 1. Hasil Pengujian Model InceptionV3

| Label | Precision | Recall | F1-Score |
|---------------|-----------|--------|----------|
| 1 (Bujuh) | 100% | 100% | 100% |
| 2 (Dalem) | 92% | 92% | 92% |
| 3 (Keras) | 100% | 97% | 98% |
| 4 (Penasar) | 85% | 96% | 90% |
| 5 (Sidakarya) | 100% | 74% | 85% |
| 6 (Tua) | 96% | 100% | 98% |
| 7 (Wijil) | 100% | 84% | 91% |
| Akurasi | | 88,57% | |

Dari Tabel 1 dapat disimpulkan bahwa akurasi model InceptionV3 yang didapatkan adalah 88,57%. Nilai precision pada topeng Bujuh, Keras, Sidakarya dan Wijil mendapatkan nilai precision 100%. Hal ini karena tidak ada data yang salah diprediksi sebagai data pada label tersebut. Sementara pada topeng Dalem, Penasar, dan Tua terdapat indikasi kesalahan prediksi data lain sebagai data tersebut sehingga menimbulkan error (galat) tipe I. Nilai recall paada topeng Tua mendapatkan nilai 100%, hal ini dikarenakan topeng tersebut sama sekali tidak mengalami salah prediksi. Sementara data pada topeng lain mengalami beberapa kesalahan prediksi yang menyebabkan nilai recall dibawah 100%.

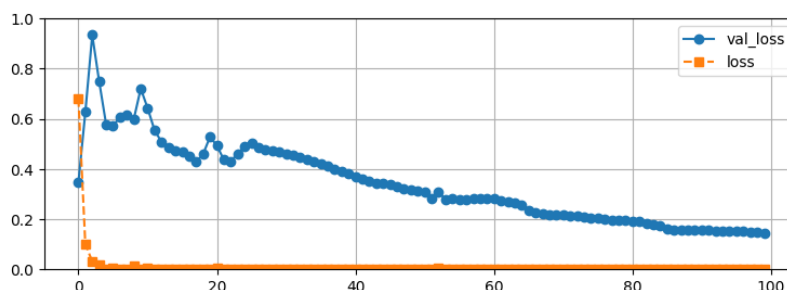
3.2 Model MobileNetV2

Setelah melakukan proses training pada 100 iterasi, didapatkan trend akurasi menunjukkan peningkatan dan trend loss mengalami penurunan. Hal ini mengindikasikan bahwa proses pembelajaran model MobileNetV2 berlangsung dengan baik. Grafik performa akurasi selama proses training pada model MobileNetV2 dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Performa Akurasi Selama Proses Training Pada Model MobileNetV2

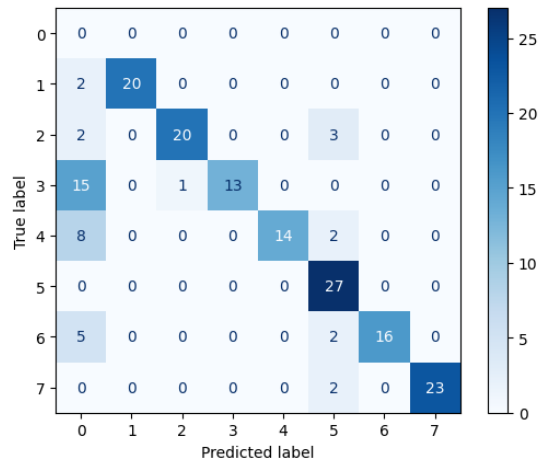
Sementara grafik performa loss selama proses training pada model MobileNetV2 dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Performa Loss Selama Proses Training Pada Model MobileNetV2

Dari Gambar 11 dapat dilihat bahwa nilai akurasi pada data validasi cenderung fluktuatif namun secara trend dapat dilihat terjadi peningkatan. Sementara dari Gambar 12 dapat dilihat performa loss terus mengalami penurunan, meskipun jika dihitung per iterasi penurunan yang terjadi tidak signifikan, namun jika dilihat secara keseluruhan terjadi penurunan loss yang sangat signifikan. Hal ini sesuai dengan arsitektur MobileNetV2 yang sangat ringan sehingga hanya menghasilkan sedikit pembelajaran yang membutuhkan iterasi yang lebih tinggi daripada InceptionV3. Namun dari Gambar 11 dan Gambar 12 didapatkan kesimpulan bahwa proses training berjalan dengan baik dan tidak mengindikasikan overfitting, sehingga model dapat dikatakan valid dan dapat digunakan.

Setelah melalui proses training, kemudian dilakukan proses pengujian pada model MobileNet yang sudah dilatih. Proses ini dilakukan dengan menggunakan data testing yang sudah disiapkan. Confusion matrix dari hasil pengujian model MobileNetV2 dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Confusion Matrix Pengujian Model MobileNetV2

Dari Gambar 13 didapatkan bahwa sebagian besar data dapat diprediksi dengan baik, namun nampaknya beberapa data salah diinterpretasikan sebagai topeng Keras (label '5'), seperti 3 data pada topeng Tua (label '2'), 2 data pada topeng Sidakarya (label '4'), 2 data pada topeng Bujuh (label '6') dan 2 data pada topeng Dalem (label '7'). Sementara terdapat beberapa data yang gagal diprediksi pada topeng Wijil (label '3'), topeng Sidakarya (label '4') dan topeng Bujuh (label '6').

Dari confusion matrix pada Gambar 13, kemudian dapat dihitung nilai akurasi, precision dan recall pada masing-masing label. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Model MobileNetV2

| Label | Precision | Recall | F1-Score |
|---------------|-----------|--------|----------|
| 1 (Bujuh) | 100% | 91% | 95% |
| 2 (Dalem) | 95% | 80% | 87% |
| 3 (Keras) | 100% | 45% | 62% |
| 4 (Penasar) | 100% | 58% | 74% |
| 5 (Sidakarya) | 69% | 100% | 82% |
| 6 (Tua) | 100% | 74% | 85% |
| 7 (Wijil) | 100% | 100% | 100% |
| Akurasi | | 74,28% | |

Berdasarkan tabel 2 dapat disimpulkan bahwa akurasi model MobileNetV2 yang didapatkan adalah 74,28%. Nilai ini lebih rendah daripada nilai akurasi pada model InceptionV3. Hal ini sesuai dengan model MobileNetV2 memiliki struktur yang lebih ramping sehingga cenderung memiliki performa yang rendah. Namun hal ini dapat diatasi dengan melakukan lebih banyak proses training sehingga mampu didapatkan akurasi yang cukup tinggi, yaitu 74,28% pada data validasi. Untuk nilai precision didapatkan nilai 100% pada data topeng Bujuh, topeng Keras, topeng Penasar, topeng Tua dan topeng Wijil. Artinya tidak terdapat kesalahan interpretasi pada proses pengujian. Sementara nilai precision terendah terdapat pada data topeng Sidakarya (label '5'). Hal ini dapat ditunjukkan dari confusion matrix pada Gambar 13, terdapat beberapa data yang mengalami kesalahan interpretasi sehingga diidentifikasi sebagai topeng Sidakarya (label '5'). Sementara dari nilai recall hanya ditemukan data pada topeng Sidakarya (label '5') dan topeng Wijil (label '7') yang memiliki nilai 100%. Artinya data pada topeng ini tidak mengalami salah prediksi. Sementara nilai recall terendah berada pada data topeng Keras (label '3') dan topeng Penasar (label '4'). Hal ini dikarenakan terdapat cukup banyak kesalahan prediksi juga kegagalan prediksi pada bounding box yang menyebabkan data tidak dapat diidentifikasi (label '0').

3.3 Pembahasan

Dari hasil pemaparan hasil pengujian pada sub-bab 3.2 dan 3.3 dapat dilakukan studi perbandingan dimana model InceptionV3 cenderung bekerja lebih baik daripada model MobileNetV2. Hal ini sesuai dengan bentuk arsitektur yang ringan pada MobileNetV2 akan membutuhkan lebih banyak upaya

pelatihan untuk mendapatkan model yang baik [23]. Pada akhirnya penelitian ini berhasil mendapatkan nilai akurasi 88,57% pada model InceptionV3 dan 74,28% pada model MobileNetV2.

Pada model Inception, peningkatan akurasi dan penurunan nilai loss terjadi dengan sangat signifikan, bahkan terjadi pada iterasi ke-5. Hal ini sesuai dengan hasil studi literatur dimana model Inception memiliki kelebihan yaitu kecepatan dalam melakukan prediksi dengan hasil yang cukup baik. Sementara nilai loss dan akurasi pada model MobileNet cenderung bergerak dengan trend yang lamban. Bahkan nilai loss dan akurasi pada data validasi tidak pernah menyamai atau lebih tinggi daripada data training. Sementara penurunan nilai loss pada model MobileNet terjadi dengan sangat lambat pada setiap iterasi, namun secara kolektif menunjukkan penurunan yang jelas. Hal ini menunjukkan proses pelatihan terjadi dengan cukup baik antara model Inception dan MobileNet. Hanya saja model MobileNet membutuhkan effort yang lebih tinggi daripada model Inception [23].

Jika dilihat dari confusion matrix, hasil pengujian pada model Inception juga cenderung lebih baik dimana hanya sedikit kegagalan prediksi yang terjadi jika dibandingkan dengan model MobileNet. Sementara mayoritas kesalahan prediksi pada MobileNet terjadi karena kegagalan prediksi, dan hanya sedikit data yang mengalami error tipe I, maupun error tipe II. Hal ini juga menunjukkan bahwa model Inception bekerja lebih baik dalam mengidentifikasi topeng.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil membuat sebuah model kecerdasan buatan yang mampu mengidentifikasi sekaligus mengklasifikasikan penokohan citra topeng Bali yang terdiri dari: Topeng Bujuh, Topeng Dalam, Topeng Keras, Topeng Penasar, Topeng Sidakarya, Topeng Tua & Topeng Wijil dengan menggunakan model InceptionV3 dan MobileNetV2. Capaian ini penting dan menunjukkan bahwa metode komputasi dapat dan mampu mengidentifikasi entitas kebudayaan di Bali khususnya pada topeng tradisional Bali dengan cukup baik. Sehingga dapat digunakan sebagai rujukan dalam pendokumentasian objek pemajuan kebudayaan secara programatik.

Berdasarkan hasil pelatihan dan pengujian yang telah dipaparkan pada bagian hasil dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa pada berbagai data topeng, model InceptionV3 bekerja dengan lebih baik daripada model MobileNetV2. Hal ini dikarenakan struktur MobileNet yang lebih ringkas, sehingga membutuhkan proses pelatihan yang lebih panjang. Akurasi yang dihasilkan pada model InceptionV3 adalah 88,57% sementara akurasi yang dihasilkan pada model MobileNetV2 adalah 74,28%.

Harapannya, penelitian ini dapat menjadi acuan bagi penelitian-penelitian berikutnya dalam topik upaya pendokumentasian objek pemajuan kebudayaan dalam bentuk programatik menggunakan kecerdasan buatan. Harapannya juga penelitian ini dapat digunakan sebagai rujukan dalam pembuatan kebijakan dari pemangku kepentingan dan diimplementasikan sehingga makin memperkaya adat dan budaya Bali dalam bentuk alihwahanan yang lebih moderen.

Referensi

- [1] KEMDIKBUD, "Indeks Pembangunan Kebudayaan," 2024. <https://ipk.kemdikbud.go.id/> (accessed Oct. 01, 2024).
- [2] KEMDIKBUD, *Kebudayaan Dalam Perbandingan: Analisis Komparatif Atas Ipk Dan Enam Indeks Terkait*, 2022nd ed. Jakarta: Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi, 2022.
- [3] A. Kusuma and I. W. Karja, "Unraveling the Sacred Connection: the Sidakarya Mask and Pemuteran Jagad Sidakarya Temple in Balinese Culture," *Int. J. Soc. Sci. Hum. Res.*, vol. 06, 2023, doi: 10.47191/ijsshr/v6-i7-84.
- [4] I. W. Suardana, "Struktur Rupa Topeng Bali Klasik," *Imaji*, vol. 4, no. 1, 2015, doi: 10.21831/imaji.v4i1.6703.
- [5] I. Wayan Mudra, *Topeng Bali*. PUSAT PENERBITAN LP2MPP INSTITUT SENI INDONESIA DENPASAR, 2021. [Online]. Available: <https://repo.isi-dps.ac.id/4541/>
- [6] M. Hobart, "Cultural Studies and Everyday Life: A Balinese Case," *J. Kaji. Bali*, vol. 12, no. 2, pp. 627–647, 2022, doi: 10.24843/JKB.2022.v12.i02.p15.
- [7] M. Nadal and O. Vartanian, "3Empirical Aesthetics: An Overview," in *The Oxford Handbook of Empirical Aesthetics*, Oxford University Press, 2022. doi: 10.1093/oxfordhb/9780198824350.013.1.
- [8] M. Mishra and P. B. Lourenço, "Artificial intelligence-assisted visual inspection for cultural

- heritage: State-of-the-art review,” *J. Cult. Herit.*, vol. 66, pp. 536–550, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2024.01.005>.
- [9] P. G. S. Nugraha Cipta, P. S. Udyana Putra, I. P. A. E. Darma Udayana, and I. P. D. G. Ambara Putra, “Smart Mobile Application for Detecting Balinese Masks to Introduce Balinese Culture to World Tourism,” vol. 13, no. 02, pp. 354–365, 2023, [Online]. Available: <http://ejournal.seaninstitute.or.id/index.php/InfoSains>
- [10] M. Banjaransari, A. Prahara, M. Banjaransari, and A. Prahara, “Image Classification of Wayang Using Transfer Learning and Fine-Tuning of CNN Models,” *Bul. Ilm. Sarj. Tek. Elektro*, vol. 5, no. 4, pp. 632–641, 2023, doi: 10.12928/biste.v5i4.9977.
- [11] K. Budiarta, D. M. Wiharta, and K. O. Saputra, “Balinese Mask Characters Classification using Bag of Visual Words Model,” *J. Electr. Electron. Informatics*, vol. 5, no. 1, p. 25, 2021, doi: 10.24843/jeei.2021.v05.i01.p05.
- [12] J. Cao, M. Yan, Y. Jia, X. Tian, and Z. Zhang, “Application of a modified Inception-v3 model in the dynasty-based classification of ancient murals,” *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, vol. 2021, no. 1, Jul. 2021, doi: 10.1186/s13634-021-00740-8.
- [13] W. Mutlag, S. Ali, Z. Mosad, and B. H. Ghrabat, “Feature Extraction Methods: A Review,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1591, p. 12028, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1591/1/012028.
- [14] K. Hafidh, I. Muhimmah, and L. Rosita, “Pemrosesan Citra Digital dalam Klasifikasi Hasil Urinalisis Menggunakan Kamera Smartphone,” *J. Inform. dan Rekayasa Elektron.*, vol. 2, no. 1, p. 10, 2019, doi: 10.36595/jire.v2i1.70.
- [15] S. Kirstein, H. Wersing, H. M. Gross, and E. Körner, “A vector quantization approach for life-long learning of categories,” *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 5506 LNCS, no. PART 1, pp. 805–812, 2009, doi: 10.1007/978-3-642-02490-0_98.
- [16] C. Szegedy, V. Vanhoucke, S. Ioffe, J. Shlens, and Z. Wojna, “Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision,” *CVPR 2016*, vol. 2016, no. 1, pp. 2818–2826, 2016.
- [17] L. Ali, F. Alnajjar, H. A. Jassmi, M. Gocho, W. Khan, and M. A. Serhani, “Performance evaluation of deep CNN-Based crack detection and localization techniques for concrete structures,” *Sensors*, vol. 21, no. 5, p. 1688, Mar. 2021, doi: 10.3390/s21051688.
- [18] J. Cao, M. Yan, Y. Jia, X. Tian, and Z. Zhang, “Application of a modified Inception-v3 model in the dynasty-based classification of ancient murals,” *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, vol. 2021, no. 1, Jul. 2021, doi: 10.1186/s13634-021-00740-8.
- [19] S. Rizal, N. Ibrahim, N. Pratiwi, S. Saidah, and R. FU’ADAH, “Deep Learning untuk Klasifikasi Diabetic Retinopathy menggunakan Model EfficientNet,” *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 8, p. 693, 2020, doi: 10.26760/elkomika.v8i3.693.
- [20] B. Khasoggi, E. Ermatita, and S. Samsuryadi, “Efficient mobilenet architecture as image recognition on mobile and embedded devices,” *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 16, no. 1, p. 389, Oct. 2019, doi: 10.11591/ijeecs.v16.i1.pp389-394.
- [21] A. G. Howard et al., “MobileNets: efficient convolutional neural networks for mobile vision applications,” *arXiv.org*, Apr. 17, 2017. <https://arxiv.org/abs/1704.04861>.
- [22] J. M. Banda, R. A. Angryk, and P. C. Martens, “Steps Toward Large-scale Solar Image Data Analysis to Differentiate Solar Phenomena,” no. June 2014, 2013, doi: 10.1007/s11207-013-0304-x
- [23] S. W. P. Listio, “Performance of Deep Learning Inception Model and MobileNet Model on gender prediction through eye image,” *Sinkron*, vol. 7, no. 4, pp. 2593–2601, Nov. 2022, doi: 10.33395/sinkron.v7i4.11887.

Rancang Bangun Face Recognition Menggunakan Metode Convolutonal Neural Network Untuk Mendeteksi Keseriusan Mahasiswa Dalam Pembelajaran Daring

I Nyoman Restu Muliarta¹, I Gede Santi Astawa²

^a Teknik Informatika, Universitas Udayana
Denpasar, Indonesia

¹ nyomanrestu2002@gmail.com

Abstrak

Dalam era digital seperti saat ini, pembelajaran daring atau online learning telah menjadi salah satu metode pembelajaran yang semakin populer di kalangan mahasiswa. Namun, salah satu tantangan utama dalam pembelajaran daring adalah mendeteksi tingkat keseriusan mahasiswa dalam mengikuti materi pembelajaran. Hal ini menjadi penting karena tingkat keseriusan mahasiswa dapat mempengaruhi hasil belajar yang dicapai. Oleh karena itu, pengembangan sistem yang dapat mendeteksi keseriusan mahasiswa dalam pembelajaran daring menjadi hal yang sangat diperlukan. Dalam penelitian ini, peneliti telah membangun dan melatih model Convolutional Neural Network (CNN) untuk tugas pengenalan wajah dengan tiga kategori: serius, netral, dan tidak serius. Alur pembuatannya dimulai dari pencarian dataset, preprocessing, pembuatan model, pelatihan model, tuning hyperparameter untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal dan yang terakhir evaluasi model. Meskipun hasil evaluasi menunjukkan bahwa model CNN yang telah dibangun memiliki kinerja yang moderat dengan metrik kinerja di sekitar 61%, ini adalah titik awal yang baik. Proses ini mengungkapkan pentingnya dataset yang baik, arsitektur model yang tepat, dan langkah preprocessing yang efektif dalam membangun model pengenalan wajah yang andal. Dengan melakukan peningkatan dan penyempurnaan lebih lanjut, seperti augmentasi data, eksplorasi arsitektur, dan tuning hyperparameter, kinerja model dapat ditingkatkan untuk mencapai hasil yang lebih akurat dan dapat diandalkan.

Keywords: Image Processing, CNN, online learning

1. Pendahuluan

Pada era digital saat ini, pembelajaran daring atau online learning telah semakin populer di kalangan mahasiswa di berbagai institusi pendidikan. Namun, salah satu tantangan utama dalam pembelajaran daring adalah bagaimana mendeteksi tingkat keseriusan mahasiswa dalam mengikuti materi pembelajaran secara efektif. Hal ini sangat penting karena tingkat keseriusan mahasiswa secara langsung mempengaruhi kualitas hasil belajar yang mereka capai. Oleh karena itu, pengembangan sistem yang mampu mendeteksi keseriusan mahasiswa dalam konteks pembelajaran daring menjadi suatu kebutuhan yang mendesak untuk mendukung keberhasilan proses pembelajaran.

Penelitian sebelumnya telah menunjukkan relevansi metode yang digunakan dalam penelitian ini, yakni teknologi *face recognition* berbasis *Convolutional Neural Network (CNN)*, untuk mendeteksi ekspresi wajah mahasiswa yang mencerminkan keseriusan. Teknologi *face recognition* terbukti efektif dalam mengidentifikasi dan memverifikasi identitas seseorang berdasarkan fitur wajah yang unik. Menurut Smith (2018) dalam jurnal *Advances in Face Recognition Technology*, CNN memiliki tingkat akurasi yang tinggi dalam proses identifikasi berbasis fitur wajah, yang menguatkan alasan untuk memilih metode ini [1].

Selain itu, penelitian oleh Johnson (2019) dalam jurnal *The Impact of Online Learning on Student Engagement* menunjukkan bahwa tingkat keseriusan mahasiswa dalam pembelajaran daring dapat mempengaruhi hasil belajar yang dicapai. Berdasarkan hasil penelitian ini, penggunaan CNN dalam *face recognition* memiliki potensi besar untuk mendeteksi keterlibatan mahasiswa dalam

pembelajaran daring, sehingga dapat menjadi metode yang tepat dalam penelitian ini. Kedua penelitian sebelumnya ini memberikan dasar yang kuat, baik dari segi efektivitas metode maupun relevansi aplikasinya dalam meningkatkan kualitas pembelajaran daring [2].

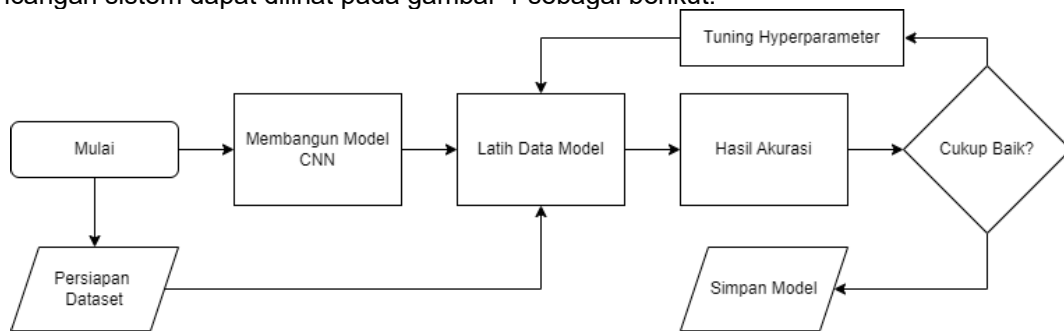
2. Metode Penelitian

2.1 Pengumpulan Data

Dataset yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari gambar wajah orang-orang dalam berbagai ekspresi. Setiap gambar wajah dilengkapi dengan label yang menunjukkan tingkat keseriusan mahasiswa dalam pembelajaran, seperti "Serius", "Netral" dan "Tidak Serius". Dataset telah dibagi menjadi subset data pelatihan, validasi, dan pengujian untuk keperluan pelatihan dan evaluasi model. Pada penelitian terdapat 3000 data wajah yang dibagi dalam 3 kategori yaitu Serius, Netral, dan Tidak Serius.

2.2 Perancangan

Perancangan sistem dapat dilihat pada gambar 1 sebagai berikut.



Gambar 1

Proses-proses tersebut dijelaskan sebagai berikut.

- Tahap pertama dalam perancangan sistem Face Recognition adalah pengumpulan data wajah yang digunakan sebagai data latih atau training data. Data ini harus diperoleh dari pengambilan live video menggunakan webcam pada saat mahasiswa mengikuti pembelajaran daring
- Data wajah yang telah dikumpulkan harus diproses sebelum digunakan sebagai data latih. Pada tahap ini, data wajah akan dideteksi terlebih dahulu menggunakan metode Haar Cascade.
- Setelah data latih siap, langkah selanjutnya adalah membuat model CNN yang akan digunakan untuk melakukan pengenalan wajah. Model ini terdiri dari beberapa lapisan konvolusi dan pooling, yang berguna untuk mengidentifikasi fitur-fitur penting pada wajah.
- Setelah model CNN dilatih, tahap selanjutnya adalah menguji keakuratan model menggunakan data uji. Data uji ini digunakan untuk mengukur performa model dalam mengenali wajah.

2.3 Deteksi Posisi wajah

Metode Haar Cascade adalah salah satu metode populer untuk deteksi objek dalam gambar, termasuk deteksi wajah. Metode ini didasarkan pada algoritma Machine Learning yang mempelajari pola-pola visual dari wajah manusia. Dalam deteksi wajah menggunakan metode Haar Cascade, terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi keakuratan deteksi, antara lain kualitas gambar, pencahayaan, sudut pandang, dan jenis wajah [3]. Oleh karena itu, deteksi wajah menggunakan metode Haar Cascade sebaiknya dilakukan dengan hati-hati dan diikuti dengan evaluasi hasil deteksi secara teliti.

2.4 Face Recognition

Pengenalan wajah menggunakan metode CNN (Convolutional Neural Network) adalah salah satu teknik yang digunakan dalam pengolahan citra digital yang memanfaatkan jaringan saraf tiruan untuk mempelajari fitur-fitur penting dari wajah manusia dan kemudian mengenali wajah tersebut dari gambar atau video [4].

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil

3.1.1 Pemrosesan Data Awal (Preprocessing)

Preprocessing data merupakan tahap penting dalam implementasi sistem face recognition menggunakan metode Convolutional Neural Network (CNN). Tahap ini bertujuan untuk mempersiapkan data agar sesuai dengan format yang dibutuhkan oleh model CNN dan meningkatkan kualitas data untuk meningkatkan kinerja model [5].

Setelah data dikumpulkan, dilakukan beberapa langkah prapemrosesan gambar untuk memastikan bahwa gambar dalam kondisi yang optimal untuk digunakan dalam pelatihan model CNN [6]. Langkah-langkah preprocessing meliputi:

a) Konversi ke Grayscale (Abu-abu)

Gambar yang diambil dalam format RGB (Red, Green, Blue) dikonversi ke grayscale atau warna abu-abu untuk mengurangi kompleksitas komputasi tanpa kehilangan informasi penting.

b) Normalisasi

Pixel dalam gambar dinormalisasi ke rentang 0-1 dengan membagi nilai pixel dengan 255. Normalisasi membantu dalam mempercepat konvergensi selama pelatihan model.

c) Resizing

Gambar diubah ukurannya menjadi dimensi yang sesuai dengan input layer model CNN, misalnya 64x64 piksel. Resizing memastikan bahwa semua gambar memiliki ukuran yang konsisten.

d) Deteksi dan Pemotongan Wajah

Untuk meningkatkan akurasi model, area wajah dalam gambar diidentifikasi dan dipotong menggunakan algoritma deteksi wajah seperti Haar Cascade Classifier. Langkah ini memastikan bahwa model CNN hanya memproses area yang relevan.

3.1.2 Pelatihan Model

Pelatihan model adalah tahap krusial dalam implementasi sistem face recognition menggunakan metode Convolutional Neural Network (CNN) untuk mendeteksi keseriusan mahasiswa dalam pembelajaran daring. Tahap ini meliputi pemilihan arsitektur model, konfigurasi parameter pelatihan, serta evaluasi performa model.

3.1.3 Tuning Hyperparameter

Hyperparameter tuning adalah proses mencari dan memilih set hyperparameter yang optimal untuk sebuah model pembelajaran mesin. Pada penelitian ini menggunakan GridSearchCV yang memungkinkan kita untuk secara sistematis mencari kombinasi terbaik dari hyperparameter untuk model kita. Dengan cara ini, kita dapat meningkatkan performa model secara optimal berdasarkan data pelatihan yang tersedia.

3.1.4 Evaluasi model

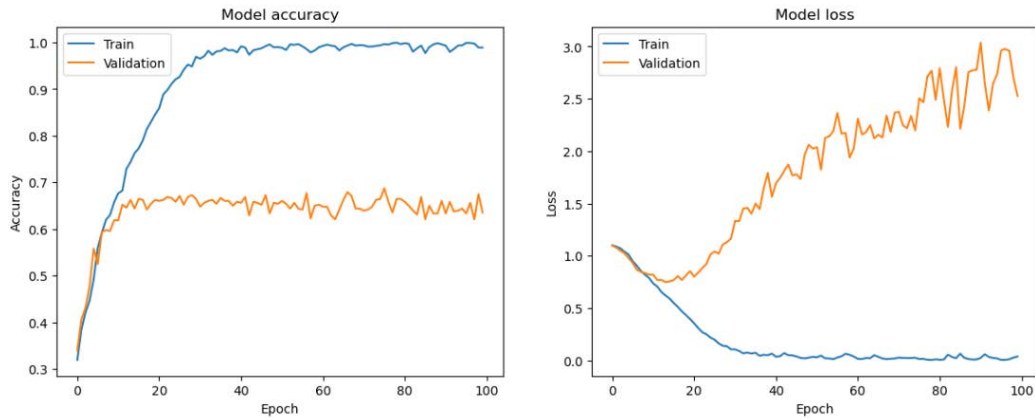
Setelah pelatihan selesai, kita dapat mengevaluasi kinerja model pada data uji (X_{test} dan y_{test}). Evaluasi ini akan memberikan kita gambaran tentang seberapa baik model dapat mengklasifikasikan wajah-wajah. Hasil evaluasi dapat dilihat pada tabel 1 berikut.

| Hasil Evaluasi | |
|----------------|--------|
| Accuracy | 61.33% |
| Precision | 61.32% |
| Recall | 61.33% |
| F1 Score | 60.91% |

Tabel 1

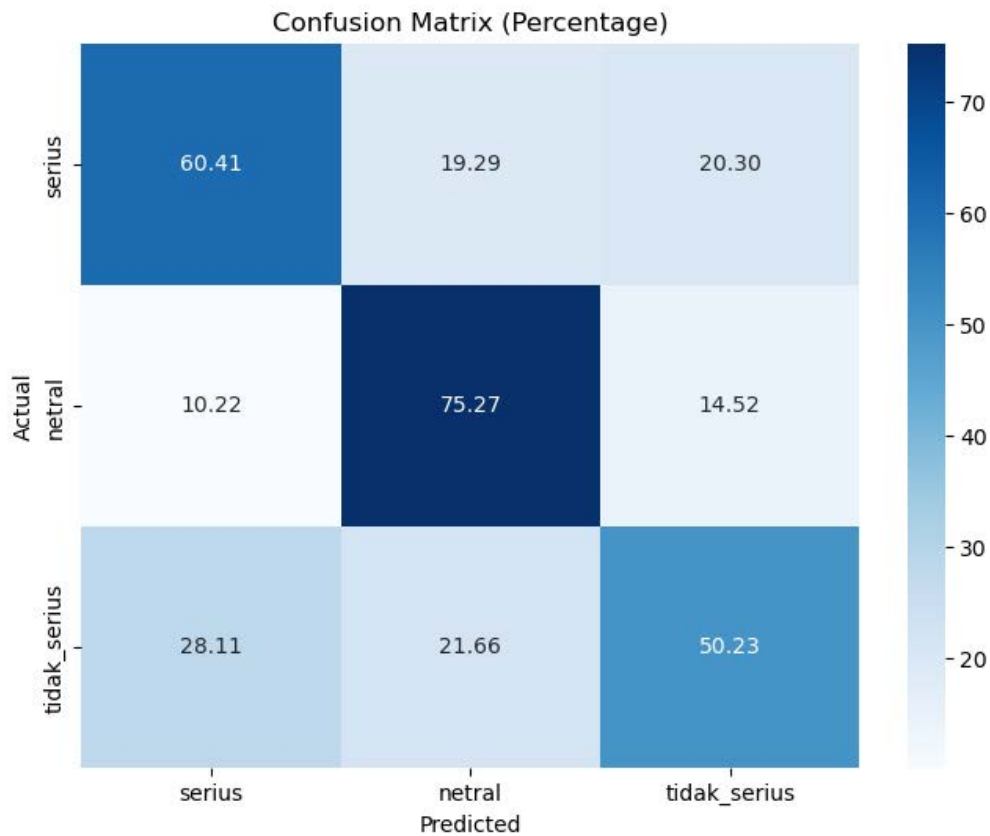
Pada hasil evaluasi tersebut terdapat Accuracy yang mendapat 61,33%, Precision mendapat 61,32%, Recall 61,33% dan F1-score mendapat 60,91%.

Selama pelatihan, Keras menyimpan riwayat (history) yang berisi metrik-metrik pelatihan seperti akurasi dan loss pada setiap epoch. Kita dapat menggunakan data ini untuk membuat grafik dan memantau bagaimana kinerja model berubah seiring berjalannya pelatihan. Hasil akurasi dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2

Pada gambar diatas menunjukan hasil CNN yang di-training sebanyak 100 epoch memiliki akurasi sebesar 95% pada training accuracy dan 61% pada validation accuracy. Selain itu, terdapat grafik kurva yang menunjukan nilai loss training dan validation. Nilai loss training yang didapat sebesar 0,2 sedangkan loss validation yang didapat sebesar 2,5. Hasil confussion matrix dari model CNN dengan dataset test dapat dilihat pada gambar 3 berikut.

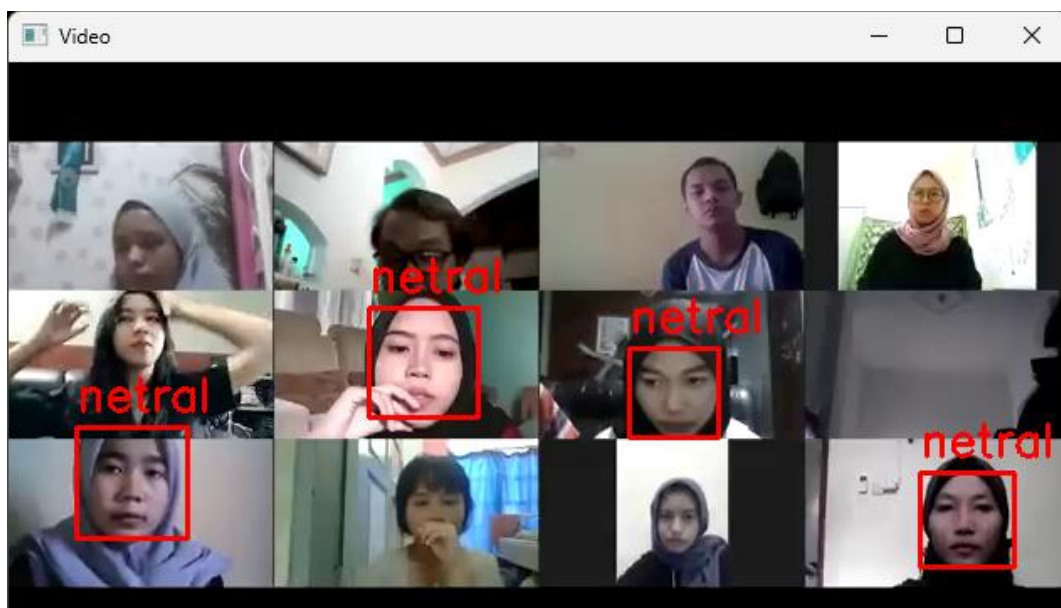


Gambar 3

Kemudian hasil dari pengenalan ekspresi muka manusia dapat dilihat gambar dibawah. Data yang digunakan berupa data video pembelajaran dengan zoom meeting yang diambil dari internet. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4 dan 5



Gambar 4



Gambar 5

Pada gambar 4 menunjukkan video *online meeting* sebelum dilakukan pengujian menggunakan *CNN*. Sedangkan gambar 5 menunjukkan pengujian setelah menggunakan *CNN*. Terlihat beberapa foto wajah mahasiswa yang menunjukkan ekspresi netral

3.2 Pembahasan

Nilai akurasi 61.33% menunjukkan bahwa model mengklasifikasikan gambar dengan benar sekitar 61.33% dari total gambar uji. Meskipun lebih dari setengah prediksi adalah benar, akurasi ini menunjukkan bahwa model masih memiliki ruang untuk perbaikan. Akurasi di atas 70% hingga 80% umumnya diinginkan untuk aplikasi yang lebih andal, tergantung pada konteks penggunaan. Presisi 61.32% berarti bahwa dari semua gambar yang diprediksi sebagai salah satu dari tiga kategori (serius, netral, tidak serius), 61.32% benar-benar sesuai dengan kategori tersebut. Presisi yang sebanding dengan akurasi menunjukkan bahwa model cukup konsisten dalam mengidentifikasi gambar yang benar-benar termasuk dalam kategori tertentu. Namun, untuk aplikasi kritis, tingkat presisi ini mungkin masih perlu ditingkatkan.

4. Kesimpulan

Dalam penelitian ini, peneliti telah membangun dan melatih model Convolutional Neural Network (*CNN*) untuk tugas pengenalan wajah dengan tiga kategori: serius, netral, dan tidak serius. Alur pembuatannya dimulai dari pencarian dataset, preprocessing, pembuatan model, pelatihan model,

tuning hyperparameter untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal dan yang terakhir evaluasi model. Meskipun hasil evaluasi menunjukkan bahwa model CNN yang telah dibangun memiliki kinerja yang moderat dengan metrik kinerja di sekitar 61%, ini adalah titik awal yang baik. Proses ini mengungkapkan pentingnya dataset yang baik, arsitektur model yang tepat, dan langkah preprocessing yang efektif dalam membangun model pengenalan wajah yang andal. Dengan melakukan peningkatan dan penyempurnaan lebih lanjut, seperti augmentasi data, eksplorasi arsitektur, dan tuning hyperparameter, kinerja model dapat ditingkatkan untuk mencapai hasil yang lebih akurat dan dapat diandalkan.

Referensi

- [1] Smith. (2018). "Advances in Face Recognition Technology" International Journal of Computer Vision, 45-60
- [2] Johnson. (2019). "The Impact of Online Learning on Student Engagement" Journal of Educational Technology, 78-92
- [3] Geron, Aurelien. (2017). "Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow".
- [4] Achmad, Yusuf, Randy Cahya Wihandika, and Candra Dewi. 2019. "Klasifikasi Emosi Berdasarkan Ciri Wajah Menggunakan Convolutonal Neural Network." Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Komputer 3 (11): 10595-604.
- [5] Putra, A. T., Usman, K., & Saidah, S. (2021). Webinar Student Presence System Based on Regional Convolutional Neural Network Using Face Recognition. Jurnal Teknik Informatika (Jutif), 2(2), 109 –118.
- [6] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods, "Digital Image Processing," 4th ed. Pearson Education Limited. 2018.

This page is intentionally left blank.

Analisis Algoritma ALS-MF (*Alternating Least Square Matrix Factorization*) dengan SVD (*Singular Value Decomposition*) pada Metode *Collaborative Filtering*

Ngakan Putu Widyasprana^{a1}, I Made Widhi Wirawan^{a2}, I Gede Santi Astawa^{a3}, I Dewa Made Bayu Atmaja Darmawan^{a4}

^a Program Studi Informatika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Udayana, Kuta Selatan, Badung Bali, Indonesia

¹ngakanputu39@email.com

²made_widhi@unud.ac.id

³santi.astawa@unud.ac.id

⁴dewabayu@unud.ac.id

Abstraksi

Perkembangan industri game hingga mencapai \$175,8 miliar di tahun 2021, memicu kebutuhan akan sistem rekomendasi yang presisi di berbagai platform seperti console, mobile, dan tren yang sedang berkembang seperti e-sport ataupun VR. Collaborative filtering, salah satu metode yang sering digunakan, memiliki kelemahan dalam menangani item baru atau yang belum diberi rating. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa algoritma Alternating Least Squares (ALS) dapat meningkatkan akurasi sistem rekomendasi pada dataset Goodreads dengan nilai RMSE 0,86-0,88. Selain itu, ALS terbukti lebih unggul dalam perbandingan sistem rekomendasi dengan nilai RMSE 0,641. Berdasarkan hal tersebut, penelitian mengusung metode collaborative filtering dengan algoritma ALS untuk mengatasi kelemahannya, serta meningkatkan akurasi rekomendasi game. Algoritma ALS juga dibandingkan dengan sistem dengan menggunakan SVD untuk memberikan komparasi antar algoritma. Hasil akhir pada model didapatkan model ALS optimal dengan nilai hyperparameter rank 1, regularisasi 0.1, dan 5 iterasi, metode sklearn split untuk pembagian data, dan skor persentil untuk metode konversi rating. Selain itu ALS juga unggul dibandingkan dengan menggunakan SVD dengan berhasil mencapai nilai Root Mean Squared Error (RMSE) sebesar 1.1142 untuk data uji dan 0.8873 untuk data latih.

Kata Kunci: Sistem Rekomendasi, ALS, SVD, RMSE, Hybrid Systems, Machine Learning, RMSE

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi yang cepat pada periode tahun ini membut banyak sekali inovasi-inovasi yang diluncurkan untuk memenuhi kebutuhan akan perkembangan itu. Salah satunya adalah sistem rekomendasi, sebagai contohnya, sistem rekomendasi game [1]. Dengan perkembangan yang masif ini sangat diperlukannya sistem rekomendasi yang presisi agar mampu mengatasi hal ini sehingga pengguna tidak perlu lagi bingung dalam memutuskan video game yang ingin dimainkan [2]. Beberapa contoh metode yang biasa digunakan dalam sistem rekomendasi yakni *content-based filtering* dan *collaborative filtering* [3]. *Content-based filtering* adalah metode rekomendasi sistem yang membutuhkan sejumlah informasi tentang fitur item seperti genre, tahun, sutradara, aktor dan lainnya. Sedangkan *collaborative filtering* adalah metode rekomendasi sistem yang membutuhkan hanya informasi preferensi historis, tidak menyangkut fitur item. Hal ini berdasarkan pengguna yang setuju di masa lalu cenderung akan setuju di masa mendatang.

Mengacu pada hal tersebut pada penelitian sebelumnya, melakukan komparasi antara *content-based filtering* dengan *collaborative filtering*. Dari penelitian ini didapat bahwa *content-based filtering* memiliki keunggulan dalam merekomendasikan item kepada pengguna berdasarkan fitur item dan profil pengguna, tetapi kekurangannya adalah tidak merekomendasikan berdasarkan kualitas dari item tersebut. Sedangkan untuk, *collaborative filtering* memiliki keunggulan dalam hasil prediksi yang berdasarkan preferensi pengguna lainnya, seperti rating dari pengguna dan

kualitas dari rekomendasi. Akan tetapi kekurangannya adalah kebutuhan akan data yang begitu besar sehingga rekomendasi baru dapat dilakukan [4]. Pada penelitian lainnya, dalam penerapan metode *content-based filtering* pada sistem rekomendasi aplikasi MANGAN mendapati kemiripan item profile antara satu toko dengan toko lainnya terlihat dengan jelas, dan akurasi yang di dapat dari rekomendasi sistem ini adalah 0.511. Dikatakan bahwa, rendahnya nilai akurasi ini karena kurangnya data dan metode pengujian yang kurang maksimal [5]. Akan tetapi dalam penerapannya metode *collaborative filtering* memiliki kelemahan yakni sulit untuk melakukan rekomendasi pada data yang sifatnya baru atau data yang belum diberikan rating sama sekali oleh satu-pun pengguna [6].

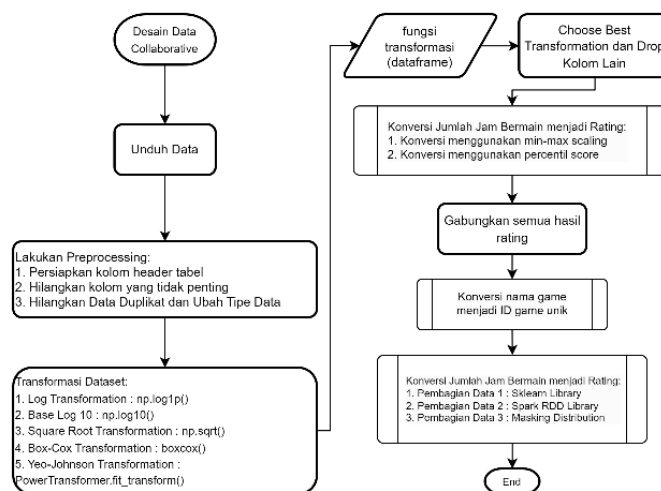
Untuk mengatasi masalah ini adapun penelitian sebelumnya pada dataset Goodreads, menggunakan algoritma ALS sebagai dasar algoritma, kinerja dalam memprediksi data dari Goodreads sejumlah 981.756 mendapati nilai MAE dan RMSE di angka 0.86 dan 0.89 pada data latih dan data uji [7]. Adapun penelitian lain yakni melakukan analisis membandingkan penerapan algoritma faktorisasi matriks dengan KNN (*K-Nearest Neighbor*), dan didapatkan hasil prediksi rating menggunakan faktorisasi matriks lebih sesuai dan nilai pengujian MAE dan RMSE lebih rendah dibandingkan dengan algoritma KNN [8]. Lalu, ada penelitian lainnya juga yang melakukan reduksi kesalahan pada sistem rekomendasi menggunakan pendekatan *collaborative filtering* berbasis model faktorisasi matrik. Dari penelitian ini didapat bahwa, hasil reduksi kesalahan menjadi lebih kecil yakni sejumlah 0.6814 dibandingkan dengan menggunakan model berbasis memori yakni sebesar 2.984 [9].

Berdasarkan dengan pemaparan permasalahan serta beberapa penelitian terkait mengenai metode pada sistem rekomendasi, pada penelitian saat ini akan menggunakan sistem hybrid yang menggunakan konsep *collaborative filtering* pada dataset dan melakukan penerapan algoritma *machine learning* ALS-MF (*Alternating Least Square Matrix Factorization*) dengan dibandingkan menggunakan algoritma SVD (*Singular Value Decomposition*). Untuk proses implementasi model akan menggunakan Apache Spark sebagai baseline pembuatan model. Dalam mengatasi perbedaan dalam interpretasi rating pada data dilakukan beberapa skenario uji yang nanti akan dibandingkan dan dicari skenario uji terbaik untuk dataset yang digunakan.

2. Metode Penelitian

2.1 Desain Sistem

Pada penelitian kali ini membagi metode penelitian menjadi 3 bagian, bagian pertama adalah bagian persiapan data metode *collaborative*, untuk bagian kedua adalah bagian implementasi model *machine learning* ALS-MF dengan Apache Spar, untuk bagian ketiga adalah bagian implementasi model *machine learning* SVD dan metode terakhir adalah desain dalam melakukan skenario uji sistem. Berikut adalah rincian metodenya:

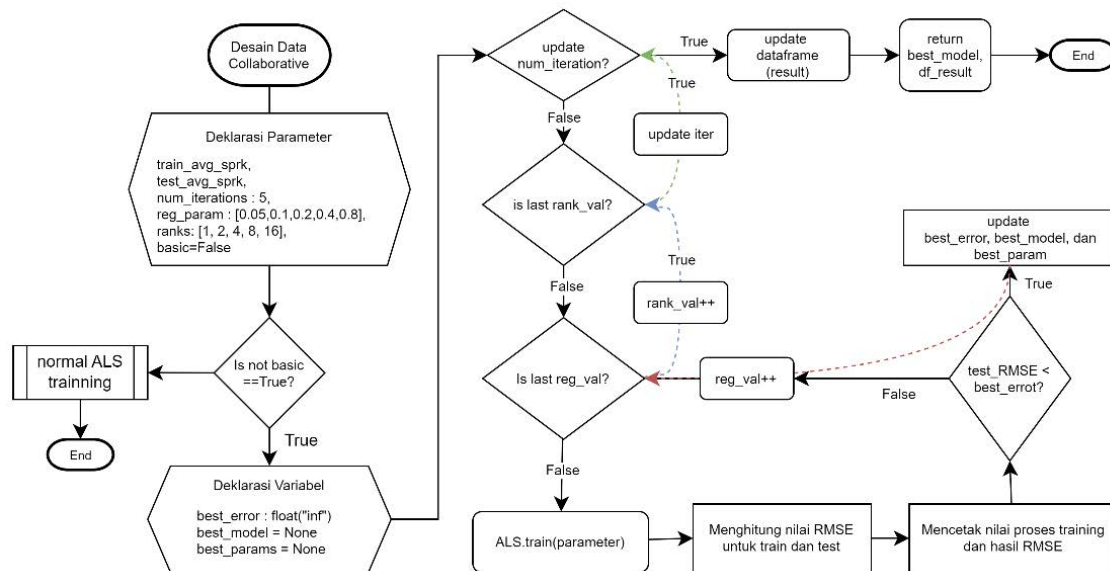


Gambar 1. Desain Metode Collaborative

Berdasarkan dengan gambar 1 diatas berikut adalah proses tahapan dalam melakukan desain data metode *collaborative filtering*:

1. Tahap pertama, melakukan proses pengunduhan data dan melakukan perubahan jenis datanya menjadi sebuah pandas *dataframe*.
2. Tahap kedua, melakukan *preprocessing* data dengan mempersiapkan *header* data sebagai nama kolom terlebih dahulu, lalu menghilangkan kolom data yang tidak penting, dan menghilangkan data duplikat dan mengubah tipe data beberapa kolom agar bisa digunakan untuk tahap selanjutnya.
3. Tahap ketiga, melakukan transformasi dataset sesuai dengan jenis kecondongan data, tingkat *skewness* data dengan beberapa metode, seperti transformasi logaritma natural, transformasi kuadrat, transformasi box-cox dan transformasi yeo-johnson.
4. Tahap keempat, memproses *dataframe* dengan fungsi transformasi dan mendapatkan hasil dari transformasi baik dalam bentuk grafik dan juga dalam bentuk statistika.
5. Tahap kelima, memilih hasil dari transformasi data terbaik mengacu pada nilai *skewness* yang paling kecil dari original-nya. Jika sudah memilih, maka semua data kolom transformasinya dihapus.
6. Tahap keenam, terdapat bagian proses untuk melakukan konversi kolom *game_hourtime* menjadi sebuah rating diskrit dengan nilai [1, 2, 3, 4, 5].
7. Tahap ketujuh, setelah semua pendekatan konversi rating didapat, maka gabungkan semua konversi rating menjadi satu dalam *dataframe* asli.
8. Tahap kedelapan, terdapat bagian proses untuk mengubah *game_name* yang berupa *string* menjadi sebuah id *game* unik yang mengkodekan setiap nama game menjadi unik.
9. Tahap kesembilan, setelah dataset siap, selanjutnya ada subproses melakukan pembagian data dengan beberapa pendekatan untuk memastikan pembagian data cukup beragam untuk bisa dilakukan analisis.

Setelah menyiapkan data menjadi bentuk *collaborative filtering*, tahap selanjutnya adalah melakukan persiapan model menggunakan algoritma ALS-MF dengan *Library PySpark* dari engine Apache Spark, seperti pada gambar 2 berikut:



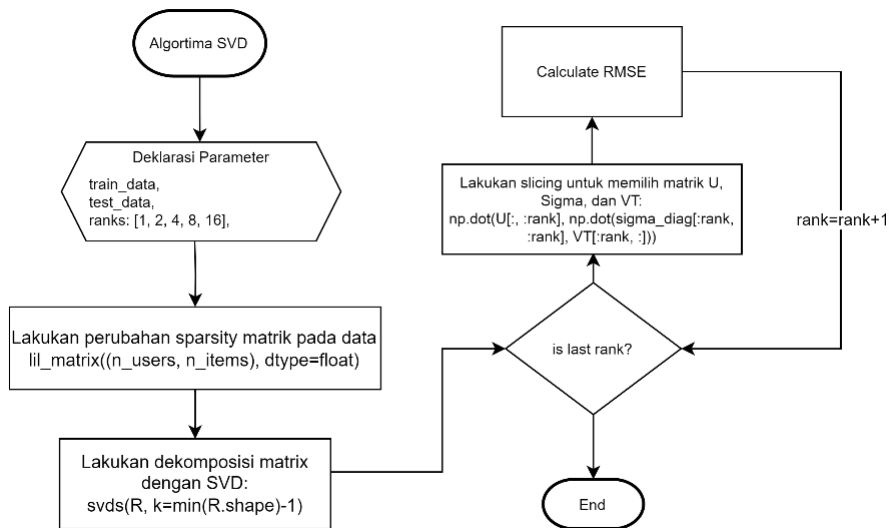
Gambar 2. Desain ALS-MF dengan *Library PySpark*

Berdasarkan dengan gambar 2 diatas, setelah data sudah dalam format *collaborative filtering*, selanjutnya akan melakukan proses latih model data dengan ALS-MF yang dibuat dengan Apache Spark. Berikut adalah tahapan prosesnya:

1. Tahap pertama, melakukan inisialisasi parameter yang akan digunakan untuk tahap latihan model ALS nanti.
2. Tahap kedua, jika variabel *basic* adalah *true* maka akan menuju subproses normal latihan model dengan ALS. Jika tidak maka akan melanjutkan ke proses selanjutnya yakni proses *hyperparameter tuning* menggunakan metode *grid search*.
3. Tahap ketiga, melakukan definisi variabel yang digunakan untuk proses *hyperparameter tuning*.

4. Tahap keempat, melakukan proses perulangan dimulai dari `num_iteration`, `rank_val`, dan `reg_val`. Perulangan akan terus berjalan hingga seluruh kombinasi 3 komponen terpenuhi dengan diakhiri hingga melakukan perubahan pada `num_iteration`.
5. Tahap kelima, pada proses ini saat melakukan latihan model menggunakan model ALS langsung menggunakan inisialisasi estimator langsung ALS. Parameter yang parameter yang digunakan sesuai yang telah dideklarasikan.
6. Tahap keenam, menghitung nilai data latih dan data uji RMSE dengan hasil model setelah *training*.
7. Tahap ketujuh, tahap ini melakukan cetak nilai parameter dengan nilai RMSE nya untuk mengetahui progress dari *hyperparameter tuning*.
8. Tahap kedelapan, melakukan cek apakah nilai tes RMSE lebih kecil dari nilai `best_error`, jika iya lakukan proses perubahan parameter `best_error`, `best_params`, dan `best_model`.
9. Tahap kesembilan, ulangi semua proses hingga perulangan berakhir dan melakukan perubahan pada *dataframe* untuk keseluruhan hasil. Dan mengembalikan keseluruhan parameter terbaik.

Setelah implementasi sistem ALS-MF, adapun implementasi sistem menggunakan algoritma SVD dengan *Library Scipy*, implementasi pada gambar 3 dibawah:

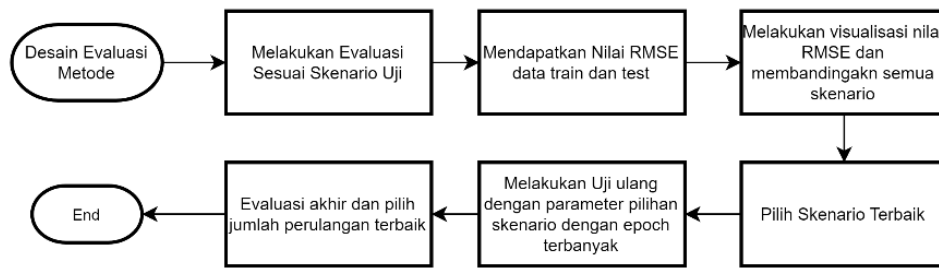


Gambar 3. Desain SVD dengan *Library Scipy*

Berdasarkan gambar 3 diatas, format data yang masuk masih sama dengan model dengan ALS-MF sebelumnya. Berikut adalah penjelasan tahapan dalam melakukan implementasi model:

1. Tahap pertama, lakukan deklarasi parameter dan *hyperparameter* yakni data latih dan data uji, lalu untuk *hyperparameter* adalah rank.
2. Tahap kedua, ubah data menjadi sebuah *sparsity matrix* yang memiliki ukuran (`user_id`, `game_id`), dan lakukan dekomposisi dengan algoritma SVD untuk mendapatkan nilai U , Σ , dan V^T .
3. Tahap ketiga, lakukan perulangan untuk setiap kemungkinan rank dan lakukan proses pemilihan fitur U , Σ , dan V^T berdasarkan dengan nilai rank.
4. Tahap keempat, lakukan perhitungan dan cetak nilai RMSE hingga seluruhnya dan program berakhir.

Setelah implementasi sistem selesai, tahap selanjutnya melakukan proses latihan model dengan skenario uji yang telah dibuat dan melakukan analisis terhadap keseluruhan skenario uji lalu mendapatkan hasil akhir sistem ALS-MF dan SVD. Untuk rinciannya dapat dilihat pada gambar 4 dibawah :



Gambar 4. Desain Evaluasi Metode ALS-MF

Berdasarkan dengan gambar 4 diatas, berikut adalah rincian dalam melakukan skenario uji sistem:

1. Tahap pertama, melakukan evaluasi terhadap seluruh skenario yang telah dibuat dan mendapatkan nilai RMSE baik data latih dan data uji untuk tahap selanjutnya nanti.
2. Tahap kedua, setelah melakukan pengujian, dapatkan nilai RMSE baik data latih atau data uji yang nantinya akan digunakan untuk proses perbandingan.
3. Tahap ketiga, melakukan visualisasi dari nilai RMSE data latih dan data uji untuk dilihat pengaruh dari skenario uji dengan nilai RMSE pada model ALS dan SVD.
4. Tahap keempat, melakukan sortir dan pemilihan skenario terbaik.
5. Tahap kelima, melakukan uji ulang dengan skenario terbaik dengan jumlah perulangan yang lebih dari yang digunakan di skenario untuk mengetahui penurunan nilai RMSE pada model.
6. Tahap keenam, memilih jumlah perulangan terbaik yang memiliki tingkat penurunan nilai RMSE yang signifikan.

2.2 Evaluasi Sistem

Untuk mengukur seberapa baik sistem yang telah dibuat dengan skenario uji yang dijalankan, maka matrik pengukuran yang digunakan adalah RMSE (*Root Mean Square Error*). Untuk proses kalkulasi dari RMSE sebagai berikut:

$$RMSE = \left(\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n} \right)^{1/2} \quad (1)$$

Dapat dilihat pada persamaan (1), dalam menghitung nilai *error* sistem akan menggunakan penjumlahan data hasil observasi (y_i) dikurangi data hasil prediksi (\hat{y}_i) yang dibagi dengan jumlah data dan dikuadratkan. Sehingga hasil akhirnya berupa nilai RMSE yang semakin mendekati 0 maka semakin bagus. Untuk menunjang dalam melakukan evaluasi sistem, akan menggunakan skenario uji pada tabel 1 berikut:

Tabel 1. Skenario Uji Sistem ALS-MF

| Metode Tuning | Metode Pembagian Data | Metode Konversi Rating | Hyperparameter |
|----------------|-----------------------|------------------------|------------------------------|
| Skenario Uji 1 | | | |
| Grid Search | Sklearn Split | Min-Max Scaling | Ranks [1,2,4,8,16] |
| | | Percentil Score | Lamda [0.05,0.1,0.2,0.4,0.8] |
| Skenario Uji 2 | | | |
| Grid Search | Spark Split | Min-Max Scaling | Ranks [1,2,4,8,16] |
| | | Percentil Score | Lamda [0.05,0.1,0.2,0.4,0.8] |
| Skenario Uji 3 | | | |
| Grid Search | Masking Distribution | Min-Max Scaling | Ranks [1,2,4,8,16] |
| | | Percentil Score | Lamda [0.05,0.1,0.2,0.4,0.8] |

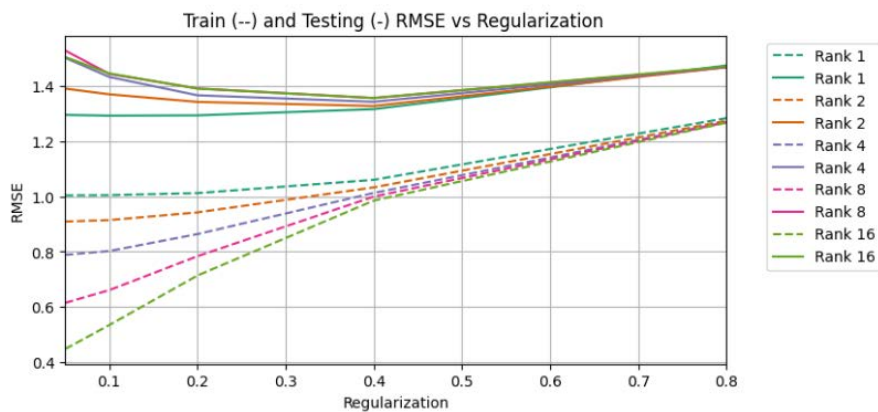
Sedangkan untuk skenario uji sistem SVD hanya menggunakan nilai rank saja dengan rentang 1 sampai 1000.

3. Result and Discussion

Setelah melakukan perancangan, hasil evaluasi akan dilakukan 4 tahap perbandingan dan 1 hasil akhir, rinciannya sebagai berikut: 1. Perbandingan antar *hyperparameter*, 2. Perbandingan antar metode konversi rating, 3. Perbandingan antar pembagian data, 4. Perbandingan antar algoritma model, dan 5. Pemilihan hasil akhir model. Untuk penjelasan lebih lanjut sebagai berikut:

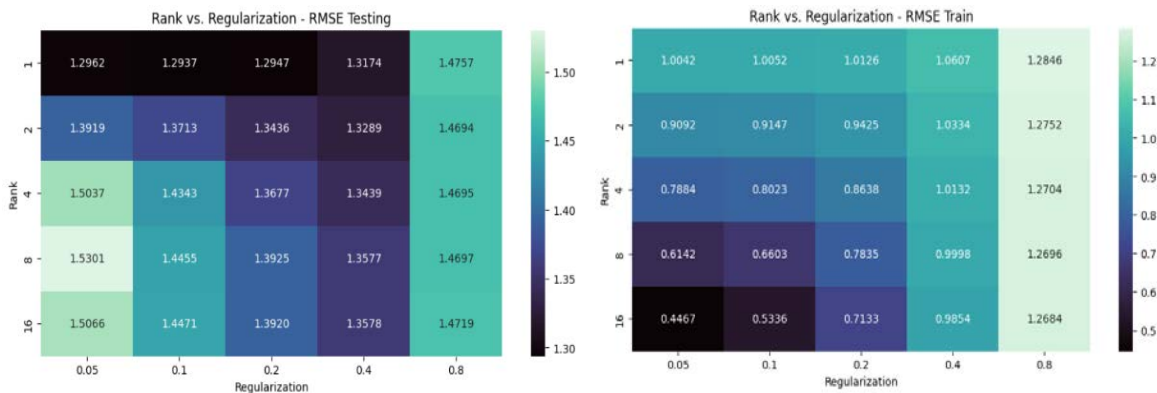
3.1. Perbandingan Hyperparameter

Secara garis besar semakin tinggi rank yang ditetapkan maka nilai RMSE semakin rendah untuk data latih sedangkan sebaliknya untuk data uji. Terlihat pada gambar 4 (hasil skenario 1) dibawah, hasil visualisasi rank dengan warna yang berbeda-beda dan juga dibedakan dengan garis putus-putus dengan yang normal. Untuk yang garis putus-putus menandakan hasil RMSE untuk data latih sedangkan untuk garis normal menandakan hasil RMSE untuk data uji. Jika melihat dari tingkat posisi garis dan nilai RMSE, maka rank paling rendah untuk data latih adalah rank 16 sedangkan untuk data uji yang paling rendah adalah rank 1. Ada juga nilai RMSE data uji yang terendah kedua yakni rank 8 tetapi memiliki nilai RMSE data latih yang sangat tinggi.



Gambar 5. Visualisasi Hasil Hyperparameter

Selain pada gambar 5 diatas yang merupakan hasil skenario-1, pada hasil skenario-2 dan skenario-3 juga menunjukkan hal serupa, hal ini menandakan semakin tinggi rank maka semakin rendah nilai *error* pada data latih, sedangkan pada data uji nilai *error* akan semakin meningkat. Berbanding terbalik dengan nilai regularisasi, pada semua skenario menunjukkan semakin tinggi nilai regularisasi maka semakin tinggi juga nilai RMSE baik pada data latih dan data uji. Dapat juga dilihat pada salah satu hasil visualisasi skenario pada heatmap gambar 6 berikut:



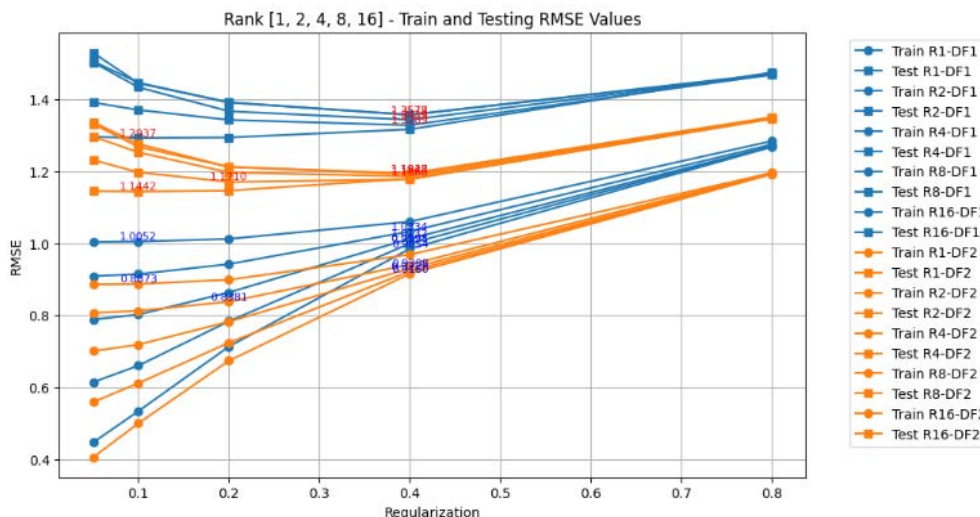
Gambar 6. Visualisasi Heatmap Skenario Uji

Dapat dilihat juga pada gambar 6 diatas, pada data uji (gambar kiri) dan pada data latih (gambar kanan) menunjukkan bahwa untuk nilai parameter terbaik dengan nilai RMSE 1.2937 ada pada nilai regularisasi 0.1 dengan rank 1, sedangkan pada data latih menunjukkan hasil terbaik pada nilai RMSE 0.4467 ada pada nilai regularisasi 0.05 dan rank 16. Untuk memilih *hyperparameter* rentangan nilai antara data latih dan data uji disarankan tidak boleh terlampaui jauh, hal ini

dikarenakan sistem mengalami *overfitting* pada salah satu data sehingga tidak akan bisa mencerminkan data yang sebenarnya. Untuk itu dipilih hasil yang rentangan *error* antara latih dan uji yang tidak begitu besar. Sehingga pemilihan *hyperparameter* untuk rank adalah 1 dan untuk nilai regularisasi adalah 0.1.

3.2. Perbandingan Metode Konversi Rating

Pada perbandingan metode konversi rating antara *min-max scaling* dengan *percentil score* didapatkan bahwa rata-rata nilai RMSE pada data *test* metode *percentil score* jauh lebih unggul dibandingkan dengan metode *min-max scaling*. Dapat dilihat pada gambar 7 berikut:

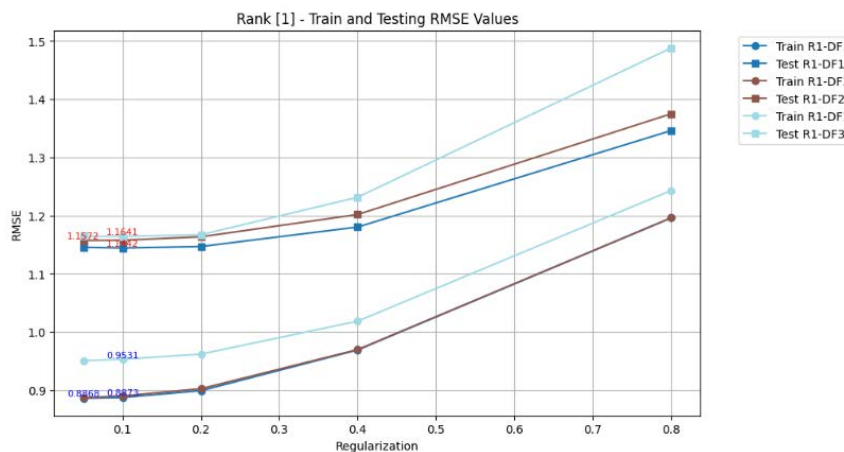


Gambar 7. Perbandingan Metode Konversi Rating *Percentil Score* dengan *Min-Max Scaling*

Dapat dilihat pada gambar 7 diatas untuk garis biru menandakan metode konversi rating *min-max scaling* sedangkan untuk garis oranye metode konversi rating dengan *percentil score*. Dilihat dari gambar untuk data *test* (garis dengan titik kotak) pada metode *percentil score* (warna oranye) rata-rata lebih unggul dibandingkan dengan metode *min-max scaling*, jika mengacu pada data *train* (garis dengan titik bulat) pada metode *percentil score* tetap menjadi yang paling rendah dalam nilai RMSE walau saling berhimpitan dengan metode *min-max scaling*. Jadi secara keseluruhan, metode konversi rating dengan metode *percentil score* jauh lebih baik dibandingkan dengan metode *min-max scaling*.

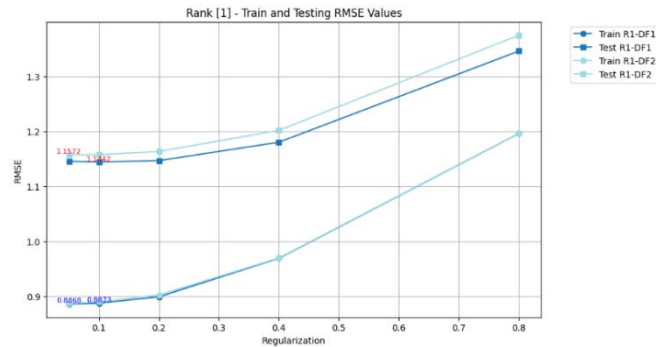
3.3. Perbandingan Pembagian Data

Perbandingan antara skenario akan membandingkan 3 skenario pembagian data dengan menggunakan *hyperparameter* terbaik yakni nilai rank=1 dan nilai regularisasi adalah 0.1. Lalu menggunakan metode konversi rating yang terbaik juga menggunakan metode *percentil score*. Dengan semua pilihan tersebut, berikut pada gambar 8 adalah hasil perbandingan 3 skenario:



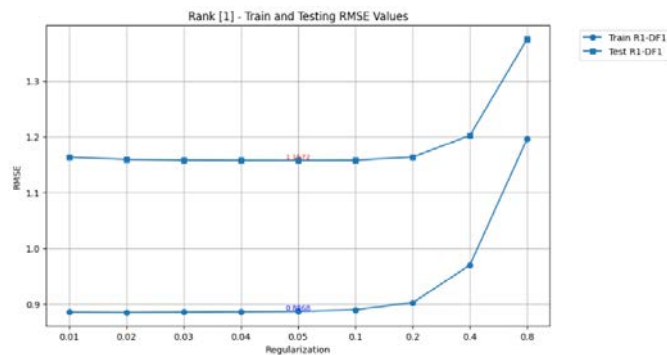
Gambar 8. Perbandingan Antara Pembagian Data

Dapat dilihat pada gambar 8 diatas, skenario yang memiliki nilai RMSE untuk data *test* dan *train* yang tinggi adalah skenario ketiga dengan menggunakan *masking distribution*, sedangkan skenario yang memiliki nilai RMSE data *test* dan *train* terendah adalah skenario pertama dengan metode sklearn *split*. Jika menelaah lebih dalam untuk skenario pertama dan kedua, maka dapat dilihat pada gambar 9 berikut:



Gambar 9. Perbandingan Sklearn *Split* (skenario 1) dan Pyspark *Split* (skenario 2)

Dapat dilihat pada gambar 9 diatas, untuk skenario 1 masih unggul untuk nilai RMSE pada data *test* yang berada pada nilai 1.1142 dibandingkan dengan nilai RMSE *test* skenario 2 yakni pada nilai 1.1572, akan tetapi untuk data *train* skenario 2 lebih unggul 0.005 dari skenario 1. Untuk skenario kedua, karena nilai regularisasi berada pada titik terendah, ada kemungkinan bahwa skenario 2 masih bisa mendapatkan nilai yang lebih rendah lagi, untuk itu, dilakukan proses training ulang dengan nilai regularisasi [0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05], berikut adalah hasilnya:



Gambar 10. Pelebaran Nilai Regularisasi dengan PySpark Split (skenario 2)

Dapat dilihat pada gambar 10 diatas, walau sudah dilakukan pelebaran nilai RMSE perbedaan nilai RMSE sangat kecil dengan nilai regularisasi 0.05, dengan ini nilai regularisasi 0.05 tetap menjadi yang paling rendah dari semua nilai regularisasi, jadi pemilihan nilai regularisasi untuk skenario 2 akan tetap 0.05. Dari seluruh perbandingan skenario jika dicari nilai selisih data *train* dan *test*, skenario pertama memiliki nilai 0.2269 sedangkan skenario kedua memiliki nilai 0.2704. Jadi secara selisih antara *train* dan *test* skenario 1 jauh lebih unggul sebesar 0.05.

3.4. Perbandingan Antara Algoritma

Untuk melakukan perbandingan antara algoritma ALS-MF dan SVD, berikut adalah rekapitulasi keseluruhan *error* model ALS pada tabel 2 berikut:

Tabel 2. Rekapitulasi RMSE ALS-MF

| Skenario | ALS | | | | | | |
|-----------------|-----------|------|---------|------|---------|------|------|
| | Rata-Rata | | Minimum | | Maximum | | |
| | Train | Test | Train | Test | Train | Test | |
| Min-Max Scaling | 1 | 0.93 | 1.40 | 0.44 | 1.29 | 1.28 | 1.53 |
| | 2 | 0.93 | 1.41 | 0.44 | 1.30 | 1.28 | 1.54 |
| | 3 | 1.03 | 1.39 | 0.47 | 1.19 | 1.37 | 1.68 |

| | | | | | | | |
|-----------------|---|------|------|------|------|------|------|
| Percentil Score | 1 | 0.85 | 1.24 | 0.40 | 1.14 | 1.19 | 1.35 |
| | 2 | 0.86 | 1.26 | 0.40 | 1.15 | 1.20 | 1.38 |
| | 3 | 0.91 | 1.36 | 0.41 | 1.16 | 1.24 | 1.57 |

Dapat dilihat pada tabel diatas, adalah keseluruhan rekapitulasi nilai RMSE pada model ALS-MF dengan nilai rata-rata, nilai minimum, dan nilai maksimum pada data uji dan data latih. Sedangkan untuk hasil rekapitulasi keseluruhan *error* model algoritma SVD pada tabel 3 berikut:

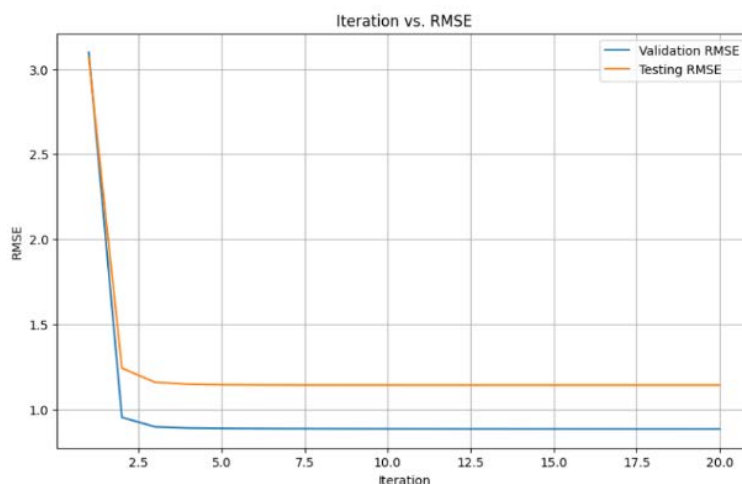
Tabel 3. Rekapitulasi RMSE SVD

| Skenario | SVD | | | | | | |
|-----------------|-----------|------|---------|--------|---------|------|------|
| | Rata-Rata | | Minimum | | Maximum | | |
| | Train | Test | Train | Test | Train | Test | |
| Min-Max Scaling | 1 | 3.81 | 4.25 | 6e-5 | 6e-5 | 4.23 | 4.54 |
| | 2 | 3.82 | 4.26 | 125e-6 | 8e-5 | 4.22 | 4.56 |
| | 3 | 3.62 | 4.47 | 3e-8 | 3e-15 | 4.14 | 4.66 |
| Percentil Score | 1 | 2.96 | 3.23 | 6e-5 | 3.20 | 3.23 | 3.46 |
| | 2 | 2.95 | 3.25 | 8e-5 | 3.23 | 3.22 | 3.48 |
| | 3 | 2.74 | 3.50 | 3e-15 | 3.49 | 3.07 | 3.65 |

Pemilihan model menjadi krusial untuk melihat model mana yang memiliki tingkat *error* terendah untuk dataset penelitian. Untuk perbandingan pertama, secara rata-rata keseluruhan baik metode *percentil score* maupun *min-max scaling* nilai RMSE pada model ALS mengungguli keseluruhan skenario 1, 2, dan 3 pada model SVD. Nilai rata-rata keseluruhan skenario dari semua metode *min-max scaling* dan *percentil score* didapatkan nilai RMSE ALS adalah 0.91 untuk data *train* dan 1.32 untuk data *test*. Sedangkan untuk model SVD nilai rata-rata keseluruhan skenario adalah 3.31 untuk data *train* dan 3.82 untuk data *test*. Jika melihat nilai *minimum* pada tabel 2 dan 3, secara keseluruhan nilai RMSE minimum model SVD unggul bahkan mendekati nilai 0 dibandingkan dengan model ALS, akan tetapi nilai RMSE untuk *maximum* nilai pada data *train* maupun *test* jauh lebih kecil model ALS dibandingkan model SVD. Jadi secara keseluruhan, model ALS lebih unggul dalam memproses data sehingga jarak antara data *train* dan *test* tidak terlalu besar jika dibandingkan dengan model SVD yang sangat *overviting* pada data *test* sehingga nilai RMSE pada data *test* sangat buruk.

3.4 Pemilihan Hasil Akhir Model

Setelah melakukan analisis perbandingan antara *hyperparameter*, metode konversi rating, metode pembagian data, dan perbandingan antara algoritma. Semua skenario diatas masih dilakukan pada iterasi dengan jumlah 5. Untuk menentukan jumlah iterasi lanjutan, maka akan dilakukan proses training lagi dengan model terbaik dan melihat jumlah iterasi yang cocok untuk model. Hasil dapat dilihat pada gambar 11 berikut:



Gambar 11. Pemilihan Model Terbaik terhadap Pertambahan Perulangan

Dapat dilihat pada gambar 11 di atas, untuk iterasi lebih dari 3 pengurangan nilai RMSE tidak terlalu signifikan sehingga penambahan jumlah iterasi mulai kelima dan selanjutnya tidak cukup berpengaruh dalam menurunkan nilai RMSE model. Dengan itu pemilihan jumlah iterasi terbaik masih tetap akan menggunakan 5 iterasi.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pemaparan penelitian yang telah dilakukan oleh penulis di atas, dapat diambil beberapa kesimpulan, sebagai berikut:

1. Dari hasil penelitian terutama dalam pengimplementasian model ALS dan model SVD, didapatkan bahwa dengan model faktorisasi matrik biasa dengan SVD mendapatkan nilai RMSE yang terbaik pada data *train* dan data *test* sebesar 2.95 dan 3.25. Sedangkan dengan melakukan implementasi ALS pada faktorisasi matrik dapat mengurangi atau mereduksi nilai RMSE yang terbaik pada data *train* dan *test* sebesar 0.85 dan 1.24. Selain itu, baik pada selisih nilai *minimum* dan maksimum keseluruhan RMSE didapatkan bahwa rentangan terkecil RMSE berada pada model ALS dengan nilai rentangannya konsisten pada data *train* dan *test* sebesar 0.8 dan 0.2, sedangkan untuk model SVD selisih nilai *minimum* dan maksimumnya pada data *train* dan *test* sebesar 3.3 dan 2.1.
2. Dari hasil penelitian yang dilakukan dengan menggunakan 3 skenario berbeda, didapat bahwa semakin tinggi rank maka nilai RMSE pada data *train* dan data *test* condong akan semakin meningkat, nilai terendah RMSE berada pada nilai 0.40 dan nilai tertingginya pada 1.19. Sedangkan untuk nilai regularisasi juga menunjukkan hal serupa. Lalu, untuk pemilihan jumlah iterasi, semakin tinggi jumlah iterasi tidak menghasilkan perbedaan yang signifikan setelah iterasi ke-5, dengan perbedaan rata-rata setelah iterasi kelima sebesar 0.0001. Jadi untuk hyperparameter akhir yang didapat adalah rank=1, regularisasi=0.1, dan iterasi=5. Dengan hasil akhir terbaik adalah nilai RMSE (*Root Mean Squared Error*) sebesar 1.1142 untuk data uji dan 0.8873 untuk data latih.

Referensi

- [1] S. Zhang, L. Yao, A. Sun, and Y. Tay, "Deep Learning based Recommender System: A Survey and New Perspectives" *ACM Computing Surveys*, vol. 52, no. 1, p. 1-38, 2019.
- [2] R. Robert, "Video Game Recommendation System: Using Steam's Data to Find and Recommend Similar Games", 10 May 2021. [Online]. Available: <https://medium.com/web-mining-is688-spring-2021/video-game-recommendation-system-b9bcb306bf16>. [10 June 2024].
- [3] S. Lou, "Introduction to Recommender System: Approaches of Collaborative Filtering: Nearest Neighborhood and Matrix Factorization", 10 Desember 2018. [Online]. Available: <https://towardsdatascience.com/intro-to-recommender-system-collaborative-filtering-64a238194a26>. [11 Juni 2024].
- [4] A. Aziz, M. Fayyaz, "Comparison of Content Based and Collaborative Filtering in Recommendation Systems" in *Conference: International Conference on Multimedia Information Technology and Applications*, Vietnam, 2021, pp. 428-431.
- [5] R.H. Mondy, A. Wijayanto, and Winarno, "Recommendation System With Content-Based Filtering Method For Culinary Tourism In Mangan Application" *ITSMART: Jurnal Ilmiah Teknologi dan Informasi*, vol. 8, no. 2, p. 65-72, 2019.
- [6] Y.I. Lubis, D.J. Napitulu, and A.S. Dharma, "Implementation of Hybrid Filtering (Collaborative and Content-based) Methods for the Tourism Recommendation System" in *The 12th National Conference on Information Technology and Electrical Engineering (CITEE)*, Yogyakarta, 2020, pp. 28-35.
- [7] S. Martin, J.I. Sitohang, and B. Jonathan, "Mesin Rekomendasi Menggunakan Algoritma Alternating Least Square (ALS) pada Goodreads" *Jurnal CoreIT*, vol. 6, no. 2, p. 79-84, 2020.
- [8] J.E. Prayogo, A. Suharso, and A. Rizal, "Analisis Perbandingan Model Matrix Factorization dan K-Nearest Neighbor dalam Mesin Rekomendasi Collaborative Berbasis Prediksi Rating" *Jurnal Informatika Universitas Pamulang*, vol. 5, no. 4, p. 506-514, 2020.
- [9] A.A. Amin, "Mereduksi Error Prediksi Pada Sistem Rekomendasi Menggunakan Pendekatan Colaborative Filtering Berbasis Model Matrix Factorization" *EXPLORE*, vol. 11, no. 2, p. 8-14, 2021.

Perbandingan Metode Case-Based Reasoning dan Rule-Based Reasoning dengan Metode *Backward Chaining* untuk Diagnosa Penyakit *Thalassemia Beta*

Wahyu Vidiadivani¹, I Ketut Gede Suhartana², Ngurah Agus Sanjaya ER³, I Gede Arta Wibawa⁴

^aProgram Studi Informatika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana

Badung, Bali, Indonesia

¹vany0141@gmail.com

²ikg.suhartana@unud.ac.id

³agus_sanjaya@unud.ac.id

⁴gede.arta@unud.ac.id

Abstrak

Penelitian ini membahas penerapan metode Case-Based Reasoning dan Backward Chaining untuk diagnosis Thalassemia Beta yang bertujuan untuk meningkatkan akurasi diagnosis dengan memanfaatkan basis data gejala dan kasus yang telah divalidasi oleh pakar. Metode Case-Based Reasoning melibatkan tahap *retrieve*, *reuse*, *revise*, dan *retain* sehingga semakin banyak kasus yang ditangani, semakin baik kinerja sistem karena sistem dapat belajar dari setiap kasus baru yang ditambahkan. Sedangkan, Backward Chaining merupakan salah satu metode mesin inferensi pada metode penalaran berbasis aturan yang memastikan bahwa diagnosis dan solusi perawatan dini yang diberikan tepat sasaran dan sesuai dengan aturan yang telah tervalidasi oleh pakar. Sistem pakar berbasis website yang dikembangkan dengan bahasa pemrograman Python dan framework Flask ini bertujuan membantu pasien dan dokter dalam mengenali gejala Thalassemia Beta serta memberikan solusi perawatan dini yang tepat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode yang digunakan mampu menghasilkan diagnosis yang akurat dan efisien. Sistem ini juga menerapkan pengujian fungsionalitas menggunakan Blackbox Testing sehingga sistem mampu meningkatkan keandalan proses diagnosis dengan menyediakan solusi perawatan dini berdasarkan data gejala yang ada. Dengan demikian, sistem ini diharapkan dapat berkontribusi dalam memberikan informasi dan solusi perawatan dini bagi masyarakat.

Kata Kunci: Case-Based Reasoning, *Backward Chaining*, *Thalassemia Beta*, Diagnosa penyakit, Sistem Pakar

Abstract

This research discusses the implementation of Case-Based Reasoning and Backward Chaining methods for diagnosing Beta Thalassemia, aiming to improve diagnostic accuracy by utilizing symptoms and casebase validated by experts. The Case-Based Reasoning method involves the stages of retrieve, reuse, revise, and retain, ensuring that the more cases handled, the better the system's performance as it learns from each new case added. Meanwhile, Backward Chaining is an inference engine method in rule-based reasoning that ensures early diagnosis and treatment solutions are accurate and conform to expert-validated rules. The expert system, developed as a web-based application using Python and the Flask framework, aims to assist patients and doctors in recognizing Beta Thalassemia symptoms and providing appropriate early treatment solutions. The research results show that the methods used can produce accurate and efficient diagnoses. The system also implements functionality testing using Blackbox Testing, ensuring it can improve the reliability of the diagnostic process by providing early treatment solutions based on existing database. Thus, this system is expected to contribute to providing information and early treatment solutions for the community.

Keywords: Case-Based, *Backward Chaining*, *Thalassemia Beta*, Disease Diagnosis, Expert System

1. Introduction

Pengembangan teknologi di bidang kesehatan memang telah mengalami kemajuan yang pesat. Salah satu contoh nyata dari digitalisasi di bidang pelayanan kesehatan adalah sistem informasi manajemen rumah sakit. Sistem ini membantu mengelola berbagai aspek operasional di rumah sakit mulai dari administrasi pasien hingga manajemen inventaris. Dalam sistem ini, salah satu peran sistem pakar dalam sistem informasi manajemen rumah sakit adalah dalam diagnosis penyakit. Dengan menggunakan basis pengetahuan yang mencakup berbagai macam data klinis, protokol pengobatan, panduan medis, dan pengetahuan ahli yang relevan dengan diagnosis dan pengelolaan penyakit, sistem pakar rumah sakit dapat mengoptimalkan proses diagnosa penyakit. Sistem pakar dapat membantu dokter dalam memilih penanganan yang paling sesuai untuk pasien berdasarkan gejala-gejala yang dimasukkan oleh pasien sebagai pengguna sistem.

Thalassemia adalah sebuah penyakit tidak menular dan merupakan kelainan darah yang diturunkan dari orang tua ke anaknya yang mengganggu sintesis hemoglobin (Hb), terutama rantai globin. Dengan meningkatnya penderita dan carrier (pembawa gen) *Thalassemia* di Indonesia, terdapat beberapa tindakan preventif yang dibentuk oleh pemerintah yang bertujuan untuk mengurangi angka kelahiran bayi penderita *Thalassemia* dan tindakan yang tepat bagi orang tua dan bayi pembawa gen *Thalassemia* di Indonesia seperti pencegahan primer (promosi dan komunikasi informasi edukasi), pencegahan sekunder (penjaringan dan deteksi dini), dan pencegahan tersier (pencegahan timbulnya komplikasi bagi penderita *Thalassemia*) [1].

Penalaran berbasis kasus adalah sebuah metodologi yang memanfaatkan solusi-solusi dari suatu masalah yang sebelumnya pernah terjadi untuk menemukan solusi dari masalah baru dengan mempertimbangkan inti proses *retrieval*, *reuse*, *revise*, dan *retain* solusi dari masalah atau kasus-kasus sebelumnya yang disimpan dalam sebuah *case base* yang bertujuan untuk memperoleh atau menemukan kembali solusi yang tepat untuk kasus baru dengan cepat dan efisien [2]. Sedangkan, penalaran berbasis aturan merupakan salah satu metode dalam sistem pakar yang merepresentasikan pengetahuan dengan menerapkan aturan berbentuk "IF-THEN" yang disusun dalam aturan yang menjelaskan bagaimana tindakan atau keputusan yang diambil akan mempengaruhi hasil akhir.

Pada penelitian yang ditulis oleh Irfandi (2014) yang mengimplementasikan sistem pakar diagnosa penyakit gigi dan mulut menggunakan metode hybrid Case-Based Reasoning dan Rule-Based Reasoning dalam beberapa skenario pengujian dengan masing-masing hasil perhitungan similiaritas yang menggunakan Jaccard Similarity (95%), Hamming Similarity (95%), dan Cosine Similarity (90%) [3]. Lalu, penelitian yang ditulis oleh Pilipus (2018) tentang sistem pakar untuk mendiagnosa penyakit disentri dengan menggunakan metode hybrid case-based dengan perhitungan similiaritas yang menghasilkan hasil akurasi sebesar 78% [4]. Kemudian, penelitian yang ditulis oleh Erdina, dkk (2020) mengimplementasikan metode hybrid Case-Based Reasoning untuk mendiagnosis pengidap penyakit Post-Traumatic Stress Disorder (PTSD) dirancang dengan menggunakan bahasa pemrograman Visual Basic 2008 dan menghasilkan perhitungan similiaritas hingga 83% [5]. Selanjutnya, penelitian yang dilakukan oleh Asrul Sani, dkk (2019) yang menerapkan metode Forward Chaining sebagai mesin inferensi dengan Case-Based Reasoning sebagai basis pengetahuannya pada kerusakan komputer dengan perhitungan pembobotan α -k-normalisasi jarak Euclidean dengan hasil perhitungan similiaritas hingga 87,5% [6].

Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya terkait sistem pakar diagnosis penyakit *Thalassemia Beta* dengan menggunakan metode hybrid Case-Based Reasoning dan Rule-Based Reasoning penulis memutuskan untuk melakukan penelitian dengan judul "Perbandingan Implementasi Case-Based Reasoning dan Rule-Based Reasoning dengan *Backward Chaining* untuk Diagnosa Penyakit *Thalassemia Beta*" menggunakan data gejala, penyakit, solusi perawatan, dan kasus-kasus yang bersumber dari hasil wawancara dengan pakar di bidang kesehatan khususnya dalam penanganan penyakit *Thalassemia Beta* yang harapannya dapat membantu masyarakat untuk dapat mengetahui dan mengenali gejala dan penyakit *Thalassemia Beta* yang tetap diawasi oleh dokter tanpa harus hadir secara langsung serta mengetahui solusi atau tindakan tepat yang harus dilakukan dalam mendukung pencegahan penyakit *Thalassemia Beta* di masyarakat dan juga membantu untuk mengoptimalkan pelayanan dan penanganan dini yang tepat.

2. Research Methods

Penelitian ini menggunakan Metode *Case-Based Reasoning* (CBR) digunakan untuk membandingkan gejala pasien dengan kasus-kasus sebelumnya, sementara Rule-Based Reasoning dengan *Backward Chaining* digunakan untuk menentukan diagnosis berdasarkan aturan-aturan yang ada. Data gejala dan solusi perawatan yang digunakan dalam penelitian ini telah divalidasi oleh pakar dan diambil dari buku-buku medis serta peraturan pemerintah terkait penanganan *Thalassemia Beta* sehingga didapatkan data gejala dan data penyakit pada Tabel 1 dan Tabel 2. [7] [8]

Tabel 1 Data Penyakit *Thalassemia Beta*

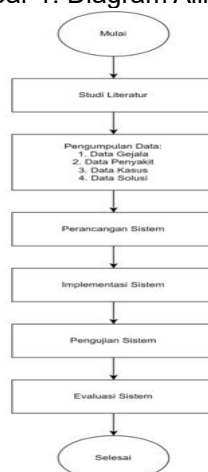
| ID Penyakit | Penyakit |
|-------------|---|
| P001 | Tidak Terindikasi <i>Thalassemia Beta</i> |
| P002 | Terindikasi <i>Thalassemia Beta</i> |

Tabel 2 Data Gejala Penyakit *Thalassemia Beta*

| ID Gejala | Nama Gejala |
|-----------|----------------------------|
| G001 | Riwayat Keluarga |
| G002 | Asal Etnis |
| G003 | Riwayat transfusi berulang |
| G004 | Kelelahan, Lemah |
| G005 | Pucat, Kuning |
| G006 | Bentuk wajah tidak biasa |
| G007 | Pertumbuhan terhambat |
| G008 | Pembesaran limpa atau hati |
| G009 | Pubertas terlambat |
| G010 | Gangguan pencernaan |
| G011 | Infeksi yang sering |

Terdapat beberapa tahap dalam pelaksanaan penelitian ini seperti yang dijelaskan pada Gambar 1.

Gambar 1. Diagram Alir Penelitian



Data yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan dua metode pengumpulan data yaitu wawancara dengan dokter spesialis penyakit dalam yang mengetahui ilmu penyakit, gejala, dan pencegahan serta kasus-kasus penyakit *Thalassemia Beta* berdasarkan indikasi apakah user terindikasi penyakit *Thalassemia Beta* atau tidak yang bertujuan untuk memperoleh data yang akurat karena dokter dapat memberikan masukan berdasarkan pada penanganan penyakit yang diderita. Akuisisi Pengetahuan dari buku yang berjudul Hematologi Klinik Ringkas oleh Prof. Dr. I Made Bakta dan Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor HK.01.07/MENKES/1/2018 tentang Pedoman Nasional Pelayanan

Kedokteran Tata Laksana *Thalassemia*.

Proses diagnosis penyakit *Thalassemia Beta* menggunakan metode CBR dan RBR. Pada proses CBR, sistem akan mencari kasus-kasus yang memiliki kemiripan dengan gejala yang diinputkan dan memberikan solusi berdasarkan kasus yang paling mirip. Pengukuran similiaritas antara kasus baru dan kasus lama menggunakan metode normalisasi jarak Euclidean menggunakan persamaan 1 dan persamaan 2.

$$d_{(i,j)} = \sqrt{|x_{i1} - x_{j1}|^2 + |x_{i2} - x_{j2}|^2 + \dots + |x_{in} - x_{jn}|^2} \quad (1)$$

$$sim(i_1, i_2) = 1 - \frac{closest_distance}{max_distance} \times 100\% \quad (2)$$

Metode ini mengukur seberapa jauh perbedaan nilai-nilai fitur antara dua kasus yang kemudian jarak antar kasus akan dinormalisasikan dengan cara membaginya dengan nilai maksimum jarak yang mungkin terjadi yang bertujuan untuk memastikan bahwa semua nilai jarak berada dalam rentang yang sama yaitu 0-1. Sedangkan, Pada proses RBR, sistem akan mengklasifikasi gejala sesuai dengan aturan yang ada dan menghitung bobot dari jawaban pertanyaan-pertanyaan yang sudah diinputkan dengan persamaan 3.

Jika G_i adalah gejala ke- i dan B_i adalah bobot dari gejala ke- i , maka:

$$\{(G_1, B_1), (G_2, B_2), \dots, (G_n, B_n)\}$$

$$n(\text{Total gejala}) = \sum_{i=1}^n G_i$$

$$TB(\text{Penjumlahan dari semua bobot yang dipilih}) = \sum_{i=1}^n B_i \quad (3)$$

$$P(\text{Presentase kemungkinan bobot}) = \left(\frac{TB}{n}\right) \times 100$$

Pengujian fungsionalitas sistem akan menggunakan metode *black box testing* yang merupakan pengujian dengan mengamati hasil input serta output dari sistem tanpa mengetahui struktur kode dari sistem. Metode *black box testing* dilakukan dengan membuat beberapa skenario dalam menjalankan fitur-fitur yang ada pada sistem yang bertujuan untuk mengetahui apakah sistem sudah berjalan sesuai fungsinya. Pengujian tingkat akurasi sistem dalam memberikan hasil diagnosis yang tepat pada sistem pakar penyakit *Thalassemia Beta* dihitung menggunakan persamaan (4) dimana evaluasi metode komputasi dilakukan dengan mengukur tingkat akurasi, yang dihitung berdasarkan jumlah kasus yang terdiagnosis dengan benar dibagi oleh total kasus uji yang dievaluasi.

$$Akurasi = \frac{\text{Banyak Diagnosis Benar}}{\text{Jumlah Kasus Uji}} \times 100 \quad (4)$$

3. Result and Discussion

3.1. Metode Case-Based Reasoning

Data dikumpulkan dari 50 kasus yang mencakup gejala, diagnosis penyakit, dan solusi penanganannya, yang divalidasi oleh pakar. Pengetahuan diperoleh dari wawancara dengan dokter spesialis dan bahan pustaka, termasuk buku "Hematologi Klinik Ringkas" oleh Prof. Dr. I Made Bakta dan Keputusan Menteri Kesehatan RI tentang Pedoman Nasional Pelayanan Kedokteran Tata Laksana *Thalassemia Beta*. Kasus-kasus diagnosis *Thalassemia Beta* dijelaskan dalam bentuk data terstruktur, mencakup fitur-fitur gejala dan solusi. Data ini diorganisir dalam bentuk frame dan disimpan sebagai basis kasus CBR. Metode sequential numbering digunakan untuk memberikan indeks pada kasus secara berurutan (K001, K002, dst). Similiaritas antara kasus baru dan kasus lama diukur menggunakan normalisasi jarak Euclidean. Semakin kecil nilai jarak, semakin besar nilai similiaritas, menunjukkan kemiripan antara kasus baru dan kasus lama. Nilai similiaritas yang tinggi menunjukkan indikasi *Thalassemia Beta*.

3.2. Metode Rule-Based Reasoning dengan Metode Backward Chaining

Representasi pengetahuan adalah komponen penting dalam penalaran berbasis aturan yang bertujuan mengkodekan pengetahuan ke dalam program. Pengetahuan direpresentasikan dalam rule base untuk menciptakan representasi visual yang selaras dengan cara berpikir manusia dalam menyelesaikan masalah [9]. Pada penelitian ini, mesin inferensi menggunakan metode *Backward Chaining* yang bekerja dengan memulai dari kesimpulan yang diinginkan dan menelusuri aturan untuk

menemukan bukti/fakta pendukung hingga semua aturan yang relevan terpenuhi. Rule base terbentuk dari pengetahuan yang divalidasi oleh dokter spesialis dan buku tentang *Thalassemia Beta*. Penyakit dan gejala *Thalassemia Beta* didefinisikan dari berbagai sumber dan dibentuk menjadi rule base untuk setiap penyakit. Setiap gejala memiliki bobot keyakinan yang diinputkan ke dalam sistem untuk merepresentasikan seberapa yakin user/pasien terhadap setiap gejala yang dipilih seperti pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Nilai Bobot Keyakinan

| Nilai Bobot | Keterangan |
|-------------|-----------------|
| 1 | Sangat Yakin |
| 0.8 | Yakin |
| 0.6 | Cukup Yakin |
| 0.4 | Kurang Yakin |
| 0.2 | Sedikit Yakin |
| 0 | Tidak/Tidak Tau |

Nilai bobot ini dijumlahkan dan dikalikan dengan jumlah total gejala untuk mendapatkan presentase keyakinan apakah seseorang terindikasi *Thalassemia Beta* atau tidak. Perhitungan bobot menggunakan metode *Simple Weighted Scoring* dilakukan dengan menjumlahkan nilai bobot dari semua gejala dan menghitung presentase kemungkinan [10]. Semakin tinggi keyakinan user/pasien terhadap gejala, semakin tinggi nilai presentase keyakinannya seperti pada Tabel 4.

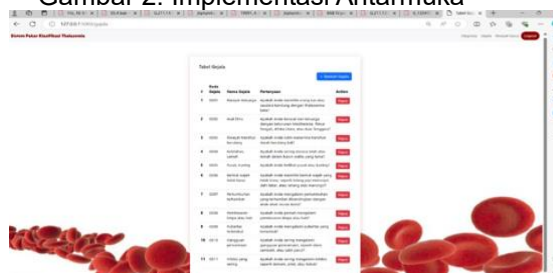
Tabel 4. Persentase Kemungkinan

| Persentase | Keterangan |
|------------|---|
| 0-50% | Tidak Terindikasi <i>Thalassemia Beta</i> |
| 51-75% | Terindikasi <i>Thalassemia Beta</i> |

3.3. Impelementasi Antarmuka Pengguna

Implementasi antarmuka pengguna pada sistem diagnosis ini terdiri dari beberapa bagian dengan fungsi yang berbeda-beda, dirancang menggunakan bahasa pemrograman Python dan framework Flask. Halaman login memungkinkan pakar maupun pasien untuk masuk menggunakan username dan password mereka, sesuai dengan peran dan kebutuhan masing-masing. Halaman formulir pasien mengharuskan pasien mengisi informasi pribadi seperti nama, jenis kelamin, dan usia. Pada halaman diagnosa gejala, pasien diminta menjawab pertanyaan terkait gejala dengan memilih tingkat keyakinan mereka dan memilih metode diagnosis yang diinginkan, CBR atau RBR. Halaman hasil CBR menampilkan diagnosis dengan membandingkan kasus baru dengan kasus yang sudah ada, serta menunjukkan nilai kesamaan di antara keduanya. Halaman hasil RBR menampilkan diagnosis, penyakit, solusi pengobatan, dan persentase keyakinan terhadap hasil diagnosis. Halaman pakar gejala memungkinkan pakar memantau dan mengelola gejala yang ditampilkan kepada pengguna. Halaman pakar riwayat kasus menampilkan daftar kasus yang tersimpan, memungkinkan pakar menambah, mengubah, dan menghapus kasus-kasus sesuai kebutuhan, memastikan manajemen kasus yang efektif dan akurat dalam sistem pakar untuk penyakit *Thalassemia Beta*. Contoh halaman antarmuka terdapat pada Gambar 2.

Gambar 2. Implementasi Antarmuka



The screenshot shows a web application interface with a table of medical cases. The table has columns for 'ID', 'Nama', 'Jenis Kelamin', 'Usia', 'Tanggal', 'Gejala', 'Penyakit', 'Solusi', 'Persentase', and 'Metode'. The table contains several rows of data. Below the table, there is a decorative graphic of red blood cells.

3.4. Implementasi Metode Komputasi

Implementasi metode komputasi dimulai dengan mengimpor library yang diperlukan dan menginisialisasi aplikasi Flask serta menghubungkan DataFrame dengan file Excel menggunakan `pandas`. Langkah pertama adalah membuat halaman login dengan Flask yang memungkinkan pakar dan pasien untuk masuk menggunakan username dan password mereka. Setelah berhasil login, halaman formulir pasien memungkinkan pasien untuk mengisi informasi pribadi seperti nama, jenis kelamin, dan usia. Proses diagnosis menggunakan metode *Rule-Based Reasoning* (RBR) dan *Case-Based Reasoning* (CBR). Pada metode RBR, pengguna memasukkan data gejala dan memberikan bobot keyakinan, kemudian sistem menghitung total bobot untuk menentukan apakah pengguna terindikasi *Thalassemia Beta*. Metode CBR melibatkan perhitungan jarak Euclidean antara gejala pengguna dengan kasus yang ada dalam basis data, menentukan kemiripan dan memberikan diagnosis berdasarkan kasus yang paling mirip. Hasil diagnosis ditampilkan dengan persentase kemiripan dan solusi yang sesuai. Sistem juga memungkinkan manajemen kasus dan gejala melalui antarmuka yang memungkinkan pakar untuk menambah, mengubah, atau menghapus data kasus dan gejala yang ada dalam basis data. Seluruh proses ini diimplementasikan dalam kode Python menggunakan Flask sebagai framework utama.

Gambar 3. Source Code Hasil Diagnosa

```
# Menentukan ID Kasus Baru
if kasus_df.empty():
    new_id = 'K001'
else:
    last_id = kasus_df['ID'].iloc[-1]
    new_id_number = int(last_id[1:]) + 1
    new_id = f'K{new_id_number:03d}'

# Menambah data pasien ke DataFrame
new_case = pd.DataFrame([
    'ID': new_id,
    'Nama': nama,
    'Jenis Kelamin': jenis_kelamin,
    'Usia': usia,
    'Tanggal': tanggal,
    'Gejala': json.dumps(gejala_selected), # Simpan
    'Penyakit': kode_penyakit,
    'Solusi': kode_solusi,
    'Persentase': persentase,
    'Metode': 'RBR'
])

kasus_df = pd.concat([kasus_df, new_case],
                    ignore_index=True)

# Simpan DataFrame ke Excel
with pd.ExcelWriter('pakar/data.xlsx', engine='openpyxl',
                    mode='a', if_sheet_exists='replace') as writer:
    kasus_df.to_excel(writer, sheet_name='kasus',
                     index=False)

return redirect(url_for('route_rbr_result', nama=nama,
                        jenis_kelamin=jenis_kelamin, usia=usia,
                        penyakit=penyakit, solusi=solusi,
                        tanggal=tanggal, persentase=persentase))

# Menentukan ID Kasus Baru
if kasus_df.empty():
    new_id = 'K001'
else:
    last_id = kasus_df['ID'].iloc[-1]
    new_id_number = int(last_id[1:]) + 1
    new_id = f'K{new_id_number:03d}'

# Menambah data kasus ke DataFrame kasus_df
new_case = pd.DataFrame([
    'ID': new_id,
    'Nama': nama,
    'Jenis Kelamin': jenis_kelamin,
    'Usia': usia,
    'Tanggal': tanggal,
    'Gejala': json.dumps(filtered_gejala_selected),
    'Penyakit': kode_penyakit,
    'Solusi': solusi,
    'Persentase': similarity_percent,
    'Metode': 'CBR'
])

kasus_df = pd.concat([kasus_df, new_case],
                    ignore_index=True)

# Simpan DataFrame kasus_df ke Excel
with pd.ExcelWriter('pakar/data.xlsx',
                    engine='openpyxl', mode='a', if_sheet_exists='replace') as writer:
    kasus_df.to_excel(writer, sheet_name='kasus',
                     index=False)

return redirect(url_for('route_cbr_result', nama=nama,
                        jenis_kelamin=jenis_kelamin, usia=usia,
                        penyakit=penyakit,
                        solusi=solusi, tanggal=tanggal,
                        gejala_baru=json.dumps(filtered_gejala_selected),
                        gejala_lama=json.dumps(filtered_gejala_lama),
                        similarity=similarity_percent,
                        pasien_lama_nama=patient_lama_nama,
                        pasien_lama_jenis_kelamin=patient_lama_jenis_kelamin,
                        pasien_lama_usia=patient_lama_usia,
                        pasien_lama_tanggal=patient_lama_tanggal))

return render_template('proses-diagnosa-cbr.html')
```

3.5. Implementasi Pengujian

- **Metode Case-Based Reasoning**

Dalam proses *Case-Based Reasoning* (CBR), hasil diagnosa dari data pengujian dibandingkan dengan lima nilai kemiripan acak yang diambil dari data uji.

| No | Hasil Diagnosis | Nilai Similiaritas Data Uji | Kebenaran |
|----|-------------------------------------|-----------------------------|-----------|
| 1 | Terindikasi Thalassemia | 89.05 | Benar |
| 2 | Terindikasi Thalassemia | 85.86 | Benar |
| 3 | Tidak Terindikasi Thalassemia | 82.68 | Benar |
| 4 | Terindikasi Thalassemia | 76.91 | Benar |
| 5 | Tidak Terindikasi Thalassemia | 78.79 | Benar |

Tabel 1. Tabel Kebenaran Diagnosis CBR

Sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem diagnosa mampu memberikan diagnosa yang tepat dengan akurasi 100% untuk setiap kasus uji dengan tingkat similiaritas yang tinggi, rata-rata mencapai 82.65%. Hal ini menunjukkan bahwa metode *Case-Based Reasoning* (CBR) yang digunakan dalam proses diagnosa mampu secara konsisten menghasilkan diagnosa yang sesuai berdasarkan kesamaan gejala dengan kasus-kasus yang telah ada dalam *case base*.

- **Metode *Rule-Based Reasoning* dengan Metode *Backward Chaining***

Proses diagnosa menggunakan metode *Rule-Based Reasoning* dengan *Backward Chaining* melibatkan evaluasi langsung antara hasil diagnosa yang dihasilkan oleh sistem dengan data uji untuk menentukan kebenarannya. Persentase keyakinan dalam proses ini dihitung berdasarkan bobot jawaban dari setiap gejala yang dipilih oleh pengguna. Semakin besar bobot yang diberikan oleh pengguna untuk suatu gejala, semakin tinggi persentase keyakinan bahwa seseorang terindikasi mengalami penyakit yang terkait dengan gejala tersebut. Perhitungan akurasi sistem dilakukan dengan membandingkan jumlah diagnosa yang benar dengan total data uji yang dievaluasi, sehingga memberikan gambaran seberapa efektif sistem dalam memberikan diagnosa yang akurat.

Tabel 2. Tabel Kebenaran Diagnosis RBR

| No | Hasil Diagnosis | Persentase Keyakinan Data Uji | Kebenaran |
|----|-------------------------------------|-------------------------------|-----------|
| 1 | Terindikasi Thalassemia | 72.73 | Benar |
| 2 | Terindikasi Thalassemia | 61.82 | Benar |
| 3 | Tidak Terindikasi Thalassemia | 31.73 | Benar |
| 4 | Terindikasi Thalassemia | 58.18 | Benar |
| 5 | Tidak Terindikasi Thalassemia | 40.0 | Benar |

Dapat disimpulkan bahwa sistem diagnosa menggunakan metode *Rule-*

Based Reasoning (RBR) dengan *Backward Chaining* mampu memberikan diagnosa yang tepat dengan tingkat akurasi 100% untuk setiap kasus uji. Keakuratan sistem ini tercermin dari penggunaan aturan bahwa jika persentase keyakinan dalam diagnosa melebihi 50%, pengguna diindikasikan mengalami *Thalassemia Beta*, dan sebaliknya jika persentase keyakinan kurang dari 50% maka seseorang tidak terindikasi *Thalassemia Beta*. Proses klasifikasi ini menunjukkan bahwa RBR tidak hanya efektif dalam memberikan diagnosa yang tepat berdasarkan gejala yang dilaporkan oleh pengguna, tetapi juga dapat menegaskan kepastian diagnosa dengan konsistensi yang tinggi.

4. Kesimpulan

Penelitian ini telah mengkaji implementasi metode *Case-Based Reasoning* (CBR) dan *Rule-Based Reasoning* (RBR) dengan *Backward Chaining* untuk diagnosis penyakit *Thalassemia Beta*. Dari hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa kedua metode ini mampu memberikan hasil diagnosis yang akurat dengan tingkat kepercayaan yang tinggi. Sistem yang dikembangkan menggunakan metode RBR dengan *Backward Chaining* menunjukkan akurasi 100% dalam setiap kasus uji yang dievaluasi. Keakuratan ini dicapai melalui penerapan aturan bahwa jika persentase keyakinan dalam diagnosa melebihi 50%, pengguna diindikasikan mengalami *Thalassemia Beta*, dan sebaliknya jika kurang dari 50%, tidak terindikasi *Thalassemia Beta*.

Implementasi metode CBR juga menunjukkan hasil yang konsisten dengan tingkat similiaritas rata-rata mencapai 82.65%, yang mengindikasikan kemampuan sistem dalam mengenali pola gejala yang ada berdasarkan kasus-kasus sebelumnya. Proses retrieval, reuse, revise, dan retain yang diterapkan dalam metode CBR memungkinkan sistem untuk belajar dari kasus-kasus sebelumnya dan menerapkannya pada kasus baru dengan efisiensi tinggi.

Secara keseluruhan, sistem pakar yang dikembangkan melalui penelitian ini membuktikan bahwa kombinasi metode CBR dan RBR dengan *Backward Chaining* tidak hanya memberikan diagnosa yang tepat tetapi juga mampu meningkatkan kepercayaan pengguna terhadap hasil diagnosa yang diberikan. Sistem ini diharapkan dapat membantu pasien dan dokter dalam mengidentifikasi gejala *Thalassemia Beta* lebih awal dan menentukan tindakan yang tepat untuk pencegahan dan solusi penanganannya.

Daftar Pustaka

- [1] Kementerian Kesehatan Republik Indonesia (Kemenkes RI), Pengendalian Penyakit *Thalassemia*, Jakarta: Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2017.
- [2] I. Y. Panessai, *Arsitektur Sistem Pakar: Konsep Sistem Pakar*, Batam: PT. LAMINTANG, 2021.
- [3] M. A. Irfandi, A. Romadhony and S. Saadah, "Implementasi Sistem Pakar Diagnosa Penyakit Gigi dan Mulut Menggunakan Metode Hybrid Case-Based Reasoning dan Rule-Based Reasoning," *Indonesia Symposium on Computing*, no. ISSN: 2460-3295, pp. 219-225, 2015.
- [4] Kurnia, P. Tarigan and S. R. Siregar, "Sistem Pakar Mendiagnosa Penyakit Disentri Menerapkan Metode Hybrid Case Based," *Majalah Ilmiah INTI*, vol. 5, no. 3, pp. 222-226, 2018.
- [5] E. D. Simanjuntak, H. Sunandar and R. K. Hondro, "Implementasi Hybrid Case-Based Reasoning untuk Mendiagnosa Pengidap Penyakit Post-Traumatic Stress Disorder (PTSD)," *JURIKOM (Jurnal Riset Komputer)*, vol. 7, no. 2, pp. 256-263, 2020.
- [6] A. Sani, J. Ferdiansyah, Sumarsono, B. G. Sudarsono and D. Yuniarto, "Penerapan Metode Forward Chaining dengan Case-Based Reasoning pada Kerusakan Komputer," *Applied Information Systems and Management (AISM)*, vol. 2, no. 1, pp. 28-32, 2019.
- [7] P. D. I. M. Bakta, *Hematologi Klinik Ringkas*, Jakarta: EGC, 2007.
- [8] K. K. R. Indonesia, "Direktorat Jenderal Pelayanan Kesehatan," 2018. [Online]. Available: https://yankes.kemkes.go.id/unduh/fileunduhan_1610420447_150443.pdf. [Accessed 09 05 2024].
- [9] R. Rosnelly, *Sistem Pakar: Konsep dan Teori*, Yogyakarta: ANDI, 2012.

- [10] W. Admass and Y. Yayeh, "Integratng Case-Based and Rule-Based Reasoning for Diagnosing and Treatment of Mango Disease using Data Mining Techniques," *International Journal of Information Technology*, vol. 16, no. 3, pp. 1-17, 2023.

This page is intentionally left blank.

Implementasi Case Base Reasoning Sebagai Diagnosis Penyakit Kesehatan Mental Pada Data Aplikasi Alodokter

I Wayan Supriana^{a1}, I Wayan Adhi Surya Gemilang^{a2}

^aProgram Studi Informatika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana
Jl. Raya Kampus Unud Bukit Jimbaran, Badung, Indonesia

¹cool.gemilang@gmail.com

²wayan.supriana@unud.ac.id

Abstract

Kesehatan psikis atau kesehatan mental merujuk pada keadaan di mana seseorang memiliki kesejahteraan yang tercermin dari kemampuannya untuk mengenali dan memahami potensi dirinya, menghadapi tekanan kehidupan normal, dan bekerja dengan produktif memanfaatkan semua potensi yang dimiliki. Identifikasi dini kesehatan mental sangat penting dilakukan, salah satu model yang dapat digunakan adalah Case-Based Reasoning (CBR). CBR pada penelitian ini memodelkan proses diagnosis penyakit mental dengan memanfaatkan data yang tersedia dari platform kesehatan digital Alodokter. Alodokter menyediakan informasi medis yang terstruktur, termasuk gejala, riwayat medis, dan diagnosis dari berbagai kasus. Dengan menggunakan pendekatan CBR, sistem secara efisien mencari kasus serupa untuk setiap pasien baru berdasarkan gejala yang dilaporkan. Dengan menggunakan TF-IDF untuk representasi kasus dan K-Means untuk Indexing kasus, hasil dari penelitian ini berupa model Case-Based Reasoning yang dapat mendiagnosis penyakit psikis berdasarkan input user, dengan nilai similaritas sebesar 83%.

Keywords: Case-Based Reasoning, Penyakit Psikis, K-Means, Diagnosis, TF-IDF

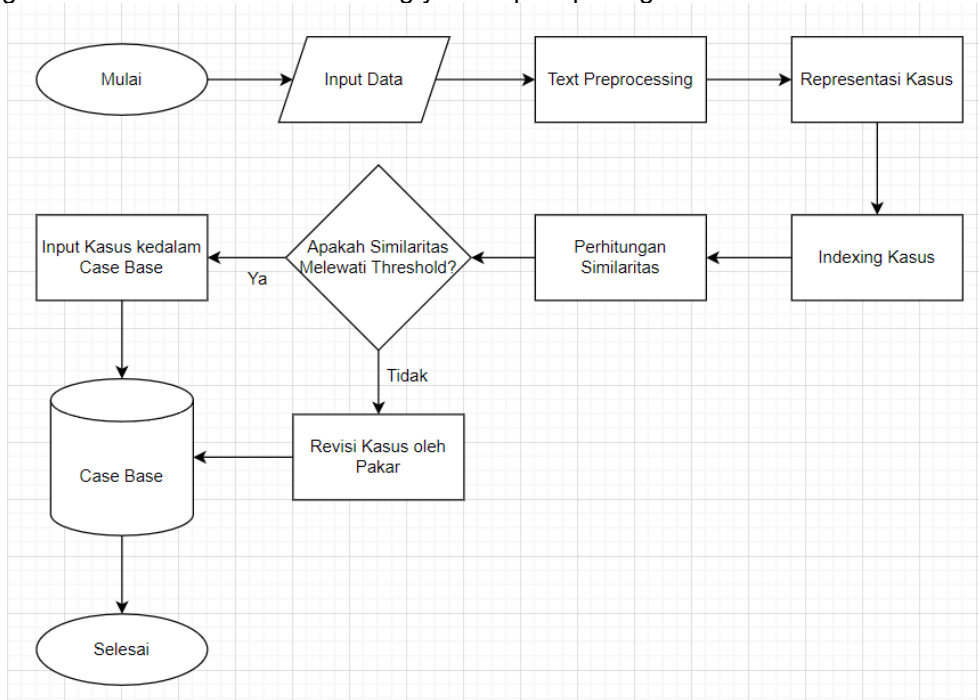
1. Pendahuluan

Kesehatan psikis atau kesehatan mental merujuk pada keadaan di mana seseorang memiliki kesejahteraan yang tercermin dari kemampuannya untuk mengenali dan memahami potensi dirinya, menghadapi tekanan kehidupan normal, dan bekerja dengan produktif memanfaatkan semua potensi yang dimiliki. Seseorang dengan kesehatan mental yang baik mampu berpikir dengan jelas dan positif ketika menghadapi berbagai tantangan dan kesulitan hidup, serta mampu memberikan kontribusi yang berarti bagi komunitas dan lingkungannya. Keadaan mental yang baik ditandai dengan ketenangan dan ketenangan, dengan demikian, seseorang dapat menghargai orang lain dan lingkungan sekitarnya serta menikmati kehidupan sehari-hari. Namun, sayangnya, kesehatan mental sering kali diabaikan, karena banyak orang hanya memprioritaskan kesehatan fisik. [2].

Sistem Case-Based Reasoning (CBR) yang dikembangkan dalam konteks ini bertujuan untuk meningkatkan proses diagnosis penyakit mental dengan memanfaatkan data yang tersedia dari platform kesehatan digital Alodokter[2]. Alodokter menyediakan informasi medis yang terstruktur, termasuk gejala, riwayat medis, dan diagnosis dari berbagai kasus. Dengan menggunakan pendekatan CBR, sistem secara efisien mencari kasus serupa untuk setiap pasien baru berdasarkan gejala yang dilaporkan [7]. Informasi dari kasus-kasus serupa ini digunakan untuk merumuskan diagnosis awal yang personal dan mendetail. Selanjutnya, sistem dapat merevisi diagnosis berdasarkan perkembangan informasi tambahan atau respons terhadap pengobatan, sambil terus menyimpan dan memperbarui basis pengetahuan dengan kasus-kasus baru. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan efisiensi diagnosis, tetapi juga memastikan kontinuitas perawatan yang optimal dengan memanfaatkan pengalaman masa lalu secara efektif untuk mendukung pengambilan keputusan klinis yang lebih baik [3].

2. Metode Penelitian

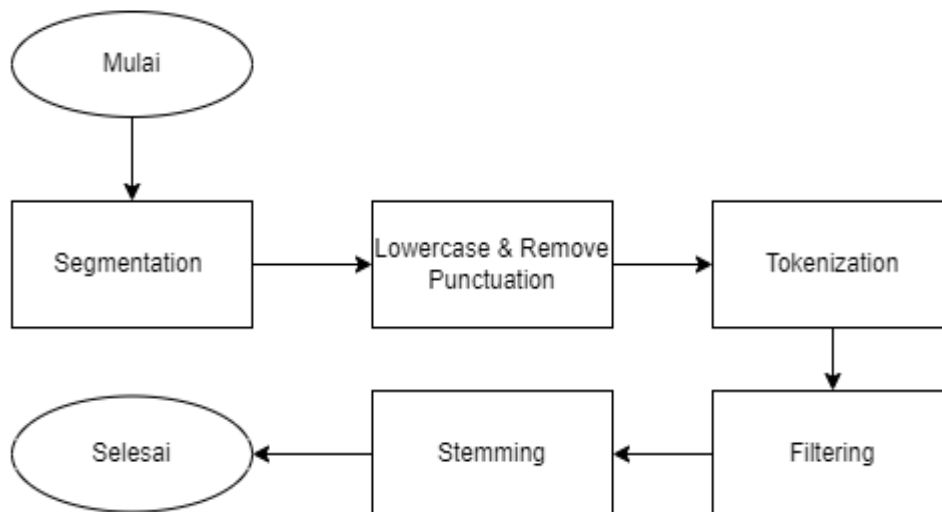
Metode penelitian dimulai dengan mengumpulkan informasi atau data serta melakukan observasi terhadap data yang diperoleh. Metode ini menjelaskan rancangan penelitian, mencakup berbagai aspek seperti prosedur dan langkah-langkah yang harus dilaksanakan, durasi penelitian, sumber data, serta cara pengumpulan, pengolahan, dan analisis data. [1]. Metode penelitian yang dilakukan penulis membangun model Case Based Reasoning yaitu seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Metode Penelitian

2.1. Text Preprocessing

Tahap pertama yang dilakukan adalah melakukan text preprocessing terhadap data yang sudah didapatkan. Pada tahap ini, semua data yang didapatkan akan melewati proses segmentation, lowercase dan remove punctuation, tokenizing, filtering dan stemming.



Gambar 2. Text Preprocessing

2.2. Representasi Kasus dan Indexing

Pada tahap ini, dilakukan dua model ekstraksi fitur terhadap data yang digunakan untuk dapat merepresentasikan kasus. Data melewati proses ekstraksi fitur penyakit berdasarkan referensi gejala dan nama penyakit yang didapatkan melalui website Alodokter, kemudian diberikan bobot dan dimasukkan ke dalam kolom disease. Setelah penentuan bobot dari kasus, dilakukan tahap Indexing yang bertujuan untuk mencari kasus serupa dalam basis data dengan cepat dan mudah. Indexing yang digunakan dalam penelitian ini adalah K-Means clustering. K-means adalah algoritma yang tergolong dalam unsupervised learning. Algoritma ini berfungsi untuk mengelompokkan data ke dalam beberapa kluster dan dapat memproses data yang tidak memiliki label kategori.

Algoritma K-Means Clustering juga termasuk metode non-hirarki. Algoritma ini mengelompokkan data ke dalam beberapa kluster, di mana data dalam satu kluster memiliki karakteristik yang serupa, namun berbeda dengan data yang berada di kluster lain. Untuk menentukan jumlah cluster yang akan digunakan, method Elbow digunakan untuk menghitung inertia berdasarkan jumlah cluster yang digunakan untuk mencari jumlah optimal cluster yang akan digunakan.

2.3. Retrieve Kasus

Untuk tahap retrieve kasus digunakan perhitungan cosine similarity, Pertama, kasus baru yang masuk dikonversi menjadi representasi vektor TF-IDF, memungkinkan ekstraksi fitur-fitur penting dari teks, seperti gejala atau deskripsi kondisi. Setelah itu, dengan menggunakan model K-Means yang telah dilatih sebelumnya, kasus baru diberi label kluster yang sesuai berdasarkan representasi TF-IDF-nya. Selanjutnya, algoritma mencari kasus-kasus serupa dalam kluster yang sama dengan menghitung similaritas kosinus antara kasus baru dan setiap kasus dalam kluster menggunakan fungsi cosine_similarity dari scikit-learn [5]. Kasus-kasus dengan similaritas tertinggi dipilih berdasarkan urutan nilai similaritas kosinusnya. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan efisiensi dalam menemukan kasus-kasus serupa, tetapi juga memastikan bahwa pengambilan keputusan diagnosa didasarkan pada pengalaman dari kasus-kasus sebelumnya yang relevan. Di bawah ini merupakan contoh hasil dari tahap retrieve kasus yang telah dilakukan.

2.4. Reuse Kasus

Pada tahap ini kasus baru yang sudah ditentukan kedekatannya pada tahap retrieve, yaitu dengan menggunakan kembali solusi pada basis kasus. Teknik reuse sebuah kasus dalam konteks kasus baru berfokus pada dua hal utama: perbedaan antara kasus yang sudah ada dengan kasus baru, serta bagian mana dari kasus yang diambil (retrieve case) yang dapat dimanfaatkan pada kasus baru. Terdapat dua pendekatan untuk re-use kasus yang sudah ada: menggunakan kembali solusi dari kasus yang ada (transformational reuse) atau memanfaatkan metode dari kasus tersebut untuk mengembangkan solusi baru [4].

2.5. Revise Kasus

Pada tahap revise, diberikan sebuah batasan threshold untuk similaritas kasus baru dengan kasus lama, jika nilai similaritas melebihi threshold tersebut, maka kasus baru akan langsung dimasukkan ke dalam case base, jika nilai similaritas kurang dari threshold tersebut, maka kasus tersebut akan dimasukkan ke dalam sebuah file csv, yang dimana digunakan untuk menyimpan kasus-kasus yang gagal melewati threshold dan akan direvisi oleh pakar untuk dimasukkan ke dalam case base utama.

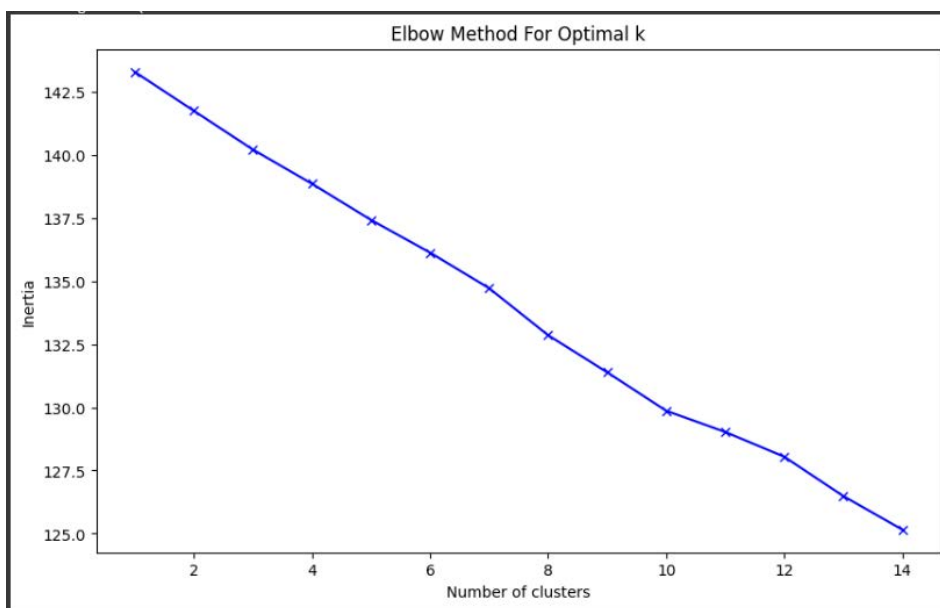
2.6. Retain Kasus

Tahap ini memakai solusi yang terakhir sebagai bagian dari kasus baru. Pada tahap ini terjadi suatu proses penggabungan dari solusi kasus yang baru yang benar ke knowledge/case base yang telah ada.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Clusterisasi Data

Untuk menentukan jumlah cluster yang akan digunakan, method Elbow digunakan untuk menghitung inertia berdasarkan jumlah cluster yang digunakan untuk mencari jumlah optimal cluster yang akan digunakan. Berikut merupakan grafik dari method Elbow yang dilakukan.



Gambar 3. Grafik Elbow Method

Dari gambar diatas tampak bahwa inertia terus berkurang tanpa “elbow point” yang jelas. Namun, terdapat perbedaan yang mencolok antara 6 dan 8 cluster. Sehingga jumlah cluster yang akan digunakan adalah 6, dengan memperhitungkan jumlah total data yang dimiliki yaitu 150.

3.2. Perhitungan Similaritas

Perhitungan Cosine Similarity kesamaan kosinus adalah ukuran yang digunakan untuk mengukur seberapa mirip dua vektor non-nol dalam ruang produk dalam. Ini sering digunakan dalam analisis teks dan pemrosesan bahasa alami untuk mengukur seberapa mirip dua dokumen atau fragmen teks. Kesamaan kosinus mengukur kosinus dari sudut antara dua vektor dalam ruang multi-dimensi. Nilai kosinus 0° adalah 1, yang berarti vektor tersebut identik, sedangkan nilai kosinus 90° adalah 0, yang berarti vektor tersebut ortogonal atau sepenuhnya berbeda [4]. Rumus untuk kesamaan kosinus adalah:

$$\frac{A \cdot B}{\|A\| \cdot \|B\|} \quad (1)$$

Di mana:

- $A \cdot B$ adalah hasil dot product dari vektor A dan B
- $\|A\|$ dan $\|B\|$ adalah magnitudo (atau panjang) dari vektor A dan B

Langkah-langkah untuk menghitung cosine similarity adalah sebagai berikut: Pertama, representasikan data teks sebagai vektor. Ini dapat dilakukan dengan metode seperti TF-IDF (Term Frequency-Inverse Document Frequency), di mana setiap dokumen direpresentasikan sebagai vektor dalam ruang multi-dimensi. Kedua, hitung hasil kali dot dari dua vektor tersebut. Ketiga, hitung magnitudo dari masing-masing vektor. Terakhir, bagi hasil kali dot dengan hasil kali magnitudo dari kedua vektor tersebut untuk mendapatkan skor kesamaan.

3.2. Evaluasi Model

Setelah model dijalankan dengan contoh kasus seperti dibawah ini:

Tabel 1. Contoh Kasus Baru

| Judul Kasus | Pertanyaan Kasus |
|--|---|
| "penyakit skizofrenia paranoid tidak sembuh" | "siang dok, dok kakek saya yang berusia 63 tahun merasa terancam jiwanya takut oleh sekumpulan orang dianggap ancaman yang ternyata hanya halusinasi" |

Dari kasus diatas akan didapatkan hasil seperti gambar dibawah ini:

```

Title \
1      penyakit skizofrenia paranoid sembuh
0      penyakit skizofrenia pengobatannya
38     takut konsultasi psikolog psikiat lingkungan m...
40     takut kehilangan kesadaran jantung berdetak ke...
62     melamun tremor dada sesak kondisi fisik melema...

Question \
1      siang dok dok keluhan kakek usia 63 kakek tera...
0      selamat sore dok curhat kakek kakek tidur mala...
38     halo dok laki laki umur 19 mengen mengendalika...
40     permisi dok usia 18 semenjak nenek meningg tak...
62     permisi doksudah â 2 mengalami aneh contohnya ...

Answer \
1      alo selamat siang skizofrenia paranoid salah j...
0      alo selamat siang skizofrenia gangguan mental ...
38     alo terimakasih pertanyaannya gangguan kejiwaa...
40     alo terima kasih pertanyaannya alodokt keluhan...
62     alo terima kasih alodokt dr ainul keluhan alam...

Diseases cluster
1      [Skizofrenia, PTSD] 5
0      [Skizofrenia] 5
38     [Depresi, Skizofrenia, Bipolar, Gangguan Kepri... 5
40     [Depresi, Bipolar, Kontrol Impuls, Gangguan Ti... 5
62     [] 5
[0.83275226 0.36161967 0.08706966 0.06972725 0.0694797 ]
    
```

Gambar 4. Hasil Perhitungan Similaritas Kasus Baru

Dari hasil diatas bisa dilihat hasil dari perhitungan similaritas tertinggi adalah 83%. Kasus baru tersebut dibandingkan dengan kasus yang diambil dari cluster 5 dengan nilai similaritas setelah yang tertinggi yaitu 36%, 8.7%, 6.9%, 6.9%.

3.3. Revisi Kasus

Pada tahap revisi kasus akan digunakan threshold sebesar 70%, yang dimana jika nilai perhitungan similaritas melewati threshold maka kasus akan langsung dimasukkan kedalam case base, jika perhitungan similaritas tidak melewati threshold tersebut maka kasus tersebut akan dipindahkan ke dataset baru yang kosong untuk di revisi oleh pakar, dibawah ini merupakan bentuk dari dataset tersebut.

Tabel 2. Contoh Kasus Baru

| No | Title | Question | Answer | Diseases | Cluster |
|----|----------------------|---------------------------|---------------|----------|---------|
| 1 | Contoh Judul Kasus 1 | Contoh Pertanyaan Kasus 1 | Need Revision | | |

4. Kesimpulan

Dari penelitian diatas bisa disimpulkan bahwa kesehatan psikis atau kesehatan mental adalah kondisi di mana seseorang memiliki kesejahteraan yang dapat dilihat dari kemampuannya menyadari potensi diri, menghadapi tekanan kehidupan normal, dan bekerja dengan produktif memanfaatkan semua potensi yang dimiliki. Sistem Case-Based Reasoning (CBR) yang dikembangkan dalam konteks ini bertujuan untuk meningkatkan proses diagnosa penyakit mental dengan memanfaatkan data yang tersedia dari platform kesehatan digital Alodokter. Hasil dari perhitungan similaritas kasus yang dilakukan sebesar 83% sehingga bisa dikatakan model Case-Based Reasoning yang dibangun dapat dengan presisi menghitung similaritas kasus yang mirip dengan kasus-kasus yang ada di basis kasus.

References

- [1] V. A. Afeanpah, S. A. S. Mola, and A. Fanggidae, "Case Based Reasoning untuk Mendiagnosa Jenis Gangguan Jiwa Menggunakan Metode Dempster Shafer," *Jurnal Komputer dan Informatika*, vol. 10, no. 1, pp. 9–17, Mar. 2022, doi: 10.35508/jicon.v10i1.6326.
- [2] Alodokter. (2024). Alodokter. Diambil 23 Juni 2024, dari <https://www.alodokter.com/>
- [3] Dwinta Ananda, Sumarna Indra, Ilman Kadori, "Metode Case Based Reasoning Untuk Mendiagnosa Gangguan Psikologi Pada RSD Gunung Jati Cirebon" *Journal of Information and Technology*, Vol. 17, No. 1, Februari 2024, pp. 1-13
- [4] Minarni, I. Warman, and W. Handayani, "Case- Based Reasoning (CBR) Pada Sistem Pakar Identifikasi Hama dan Penyakit Tanaman Singkong Dalam Usaha Meningkatkan Produktivitas Tanaman Pangan," *J. TEKNOIF*, vol. 5, no. 1, pp. 41–47, 2017.
- [5] Supriana, I. W, Prebiana K. D. 2020. "Metode Penalaran Berbasis Kasus (Case Base Reasoning) Dalam Menentukan Kelayakan Sokola Perawat", *Jurnal Rekayasa Sistem Komputer*, Vol.3, No.1, 2020.
- [6] E. Seniwati, "Case Base Reasoning Menggunakan Algoritma Bayesian untuk Penentuan Pemberian Beras Miskin," *J. Mantik Penusa*, vol. 2, no. 2, pp. 152–156, 2018.
- [7] .C. S. Fatoni and F. D. Noviadha, "Case Base Reasoning Diagnosis Penyakit Diferi dengan Algoritma K-Nearest Neighbor," *Creat. Inf. Technol. J.*, vol. 4, no. 3, pp. 220–232, 2017.

Rancang Bangun Sistem Pencarian Informasi Buku Berbasis Website Menggunakan Teknologi Semantik

Kadek Diah Pramesti^{a1}, Luh Gede Astuti^{a2}, Gst. Ayu Vida Mastrika Giri^{a3}, I Gusti Agung Gede Arya Kadyanan^{a4}

^aProgram Studi Informatika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana Badung, Bali, Indonesia

¹dpanbers@gmail.com

²lg.astuti@unud.ac.id

³vida@unud.ac.id

⁴gungde@unud.ac.id

Abstract

Students of the Informatics Study Program at Udayana University often have difficulty finding appropriate reference books in the Informatics Study Program reading room. Through a semantic web and ontology approach, SISIBUK provides comprehensive digital information about books in the Informatics Study Program Reading Room. This system is equipped with browsing and search features. The research method used is Design Science Research Methodology (DSRM), with a Methodology method for modeling book ontology and a Prototyping method. Evaluation of system testing using the Blackbox Testing method and the Technology Acceptance Model (TAM) method. Blackbox Testing evaluation shows valid results in 12 test scenarios which indicate that the application is running according to function. Evaluation of the TAM method was carried out with a number of respondents, namely 50, showing results on the convenience variable of 90.51%, the usefulness variable is 89.73%, and the acceptance variable is 87.88%. which means very high acceptance of the SISIBUK application. With high hopes, this application can be a solution to the problem of searching for information on book collections in the Informatics Study Program Reading Room.

Keywords: Book, Semantic Web, Ontology, Menthontology, Blackbox Testing, Technology Acceptance Model (TAM)

1. Pendahuluan

Buku adalah sumber ilmu dan pengetahuan yang bermanfaat serta digunakan sebagai penunjang dalam kegiatan belajar mengajar. Hal ini juga erat kaitannya dengan mahasiswa yang memerlukan berbagai buku untuk dijadikan referensi pembelajaran di kampus. Kebanyakan mahasiswa Program Studi Informatika Universitas Udayana memiliki kesulitan dalam mendapatkan buku referensi yang sesuai dengan kebutuhan mereka di ruang baca Informatika. Ruang baca merupakan salah satu fasilitas yang ada di Program Studi Informatika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Udayana yang memiliki berbagai macam koleksi buku-buku sebagai penunjang pembelajaran mahasiswa. Kesulitan yang dialami mahasiswa dalam mencari buku dikarenakan tidak adanya sistem referensi yang sesuai dengan kebutuhan mahasiswa. Hal ini didukung dengan hasil survey sebesar 91,7% menyatakan tidak mengetahui informasi buku pada Ruang Baca dan sebesar 88,9% responden mengalami kesulitan mencari referensi. Permasalahan ini harus dapat dipecahkan agar dapat membangun kegiatan belajar mengajar yang lebih baik pada Program Studi Informatika.

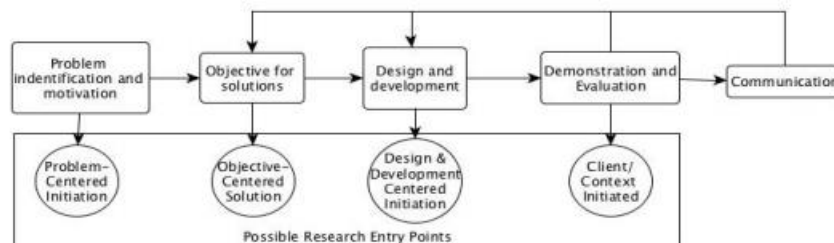
Permasalahan tersebut memiliki kaitan dengan penelitian yang ditulis oleh Wijayanto (2020) dimana ditemukannya kesulitan dalam mengelola dokumen dan informasi pada perpustakaan sehingga sulit mendapatkan informasi atau data yang diinginkan dengan tepat [4]. Penelitian ini menggunakan konsep semantik untuk penerapan fitur pencarian yang diinginkan. Pada hasil penelitian menunjukkan teknologi semantik sangat cocok diterapkan untuk pencarian yang memiliki data yang sangat banyak. Dengan permasalahan tersebut yang memiliki kaitan dengan kesulitannya mahasiswa Program Studi Informatika mencari referensi buku pada koleksi Ruang Baca Program Studi Informatika, dirancang aplikasi dalam bentuk web semantik melalui pendekatan ontologi sebagai pemecahan masalah.

Pendekatan semantik ini memungkinkan hasil pencarian yang lebih relevan. Pendekatan semantik berbeda dengan pendekatan pencarian kata kunci, di mana sistem pencarian hanya mencari kata yang sama dengan permintaan pencarian tanpa mempertimbangkan konteksnya. Dengan menggunakan pendekatan semantik dalam sistem pencarian buku, diharapkan dapat meningkatkan relevansi hasil pencarian, sehingga mahasiswa dan dosen dapat lebih mudah dan efisien dalam menemukan informasi yang mereka butuhkan untuk mendukung pembelajaran dan penelitian mereka di bidang informatika. Pembangunan model ontologi akan dirancang sedemikian rupa agar sesuai dengan kebutuhan mahasiswa sebagai pengguna fasilitas.

Dalam membangun model ontologi, pada penelitian yang ditulis oleh Pramatha (2020) menggunakan metode *Methontology*. Model ini memiliki deskripsi yang sangat detail pada pembangunan ontologi sehingga dapat mempermudah pengembangan aplikasi. Pengembangan sistem menggunakan *prototyping* yang dapat berfokus pada fungsionalitas dan mempercepat proses pengembangan. Sehingga, model ontologi yang dibangun pada penelitian ini menggunakan metode *Methontology*, sedangkan pengembangan sistem menggunakan metode *Prototyping*.

2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini akan menggunakan metode Design Science Research Methodology (DSRM). Metode DSRM memberikan solusi untuk melakukan penelitian yang dapat menciptakan dan mengevaluasi desain dalam mengatasi masalah. Seperti pada Gambar 1, Terdapat beberapa tahapan DSRM yaitu “(1) Problem identification and motivation; (2) Objective for solutions; (3) Design and development; (4) Demonstration and Evaluation; dan (5) Communication [2].”



Gambar 1. Metode DSRM [2]

2.1. Problem Identification and Motivation

Pada tahapan pertama penelitian ini yaitu mengidentifikasi permasalahan yang diangkat. Permasalahan pada penelitian ini berupa mahasiswa Program Studi Informatika Universitas Udayana mengalami kesulitan dalam menemukan buku yang pas untuk dapat dijadikan referensi pembelajaran di kampus maupun penelitiannya. Fasilitas ruang baca di program studi Informatika Universitas Udayana telah menyediakan berbagai sumber buku yang dapat dijadikan pilihan oleh mahasiswa, namun belum ada sistem, maupun informasi yang menjelaskan secara rinci mengenai buku-buku tersebut. Hal ini menyebabkan mahasiswa kesulitan mencari referensi buku yang tepat sesuai kebutuhannya.

2.2. Objective for Solutions

Pada tahap kedua penelitian ini, peneliti berfokus pada penentuan solusi yang efektif untuk mengatasi masalah yang diangkat. Solusi yang diusulkan adalah pengembangan sebuah sistem pencarian buku yang mampu menjadikan pengetahuan tersebut eksplisit. Sistem ini akan dibangun menggunakan pendekatan web semantik dengan model ontologi. Model ontologi dipilih karena kemampuannya menyajikan informasi secara semantik, serta mengorganisasi dan memetakan kumpulan sumber informasi secara sistematis dan terstruktur. Dengan mengumpulkan pengetahuan informasi buku dalam bentuk ontologi, diharapkan sistem ini dapat mempermudah manajemen data dan pengorganisasian informasi.

2.3. Design and Development

Pada tahapan ketiga merupakan tahapan untuk melakukan desain dan pengembangan yang menggunakan metode prototyping. Tahapan untuk prototyping meliputi pengumpulan kebutuhan, desain, membangun prototype, dan melakukan evaluasi dan perbaikan.

a. Pengumpulan Kebutuhan

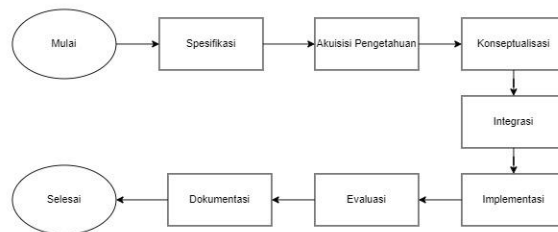
Pada tahap pengumpulan kebutuhan, analisis kebutuhan dan pengumpulan data sangat penting. Analisis kebutuhan pada penelitian ini akan mencakup analisis kebutuhan fungsional dan non-fungsional untuk membangun sistem. Adapun pengumpulan data yang terbagi menjadi dua, yaitu pengumpulan data untuk pembangunan model ontologi dan pengumpulan data untuk pengujian serta evaluasi sistem. Untuk pembangunan model ontologi, data dikumpulkan dalam dua tahap: pengambilan data awal untuk menentukan kriteria sistem dan pengumpulan data informasi buku di Ruang Baca Program Studi Informatika. Pada tahapan selanjutnya yaitu pengambilan data untuk evaluasi hasil pengujian sistem dilakukan dengan penyebaran kuisioner kepada pengguna yang telah melakukan pengujian sistem.

b. Desain

Desain sistem dibutuhkan guna memastikan bagaimana sistem nantinya memenuhi tujuan pembuatannya. Desain sistem melibatkan kegiatan yang menghasilkan spesifikasi dari sistem. Bagian dari desain sistem yaitu proses, konsep UI, serta data guna menghasilkan spesifikasi sistem yang tepat dengan kebutuhan. Proses desain terdiri dari Pembangunan Model Ontologi dan Perancangan Aplikasi. Desain yang baik akan memastikan sistem berfungsi secara optimal dan memenuhi ekspektasi pengguna serta tujuan proyek.

1. Pembangunan Model Ontologi

Pada tahap pembangunan model ontologi pada penelitian ini akan menggunakan metode *Methontology*. “Metode *Methontology* adalah metodologi yang memungkinkan pembangunan ontologi pada level pengetahuan. *Methontology* memiliki kemampuan untuk melakukan life cycle ontologi yang didasarkan pada pengembangan prototype yang memungkinkan untuk melakukan penambahan, perubahan, dan penghapusan *terms* pada tiap versi terbarunya [3].” Alur metode ini dapat dilihat pada gambar 2 yang terdiri atas tahapan spesifikasi, akuisisi pengetahuan, konseptualisasi, integrasi, implementasi, evaluasi, dokumentasi, dan selesai.



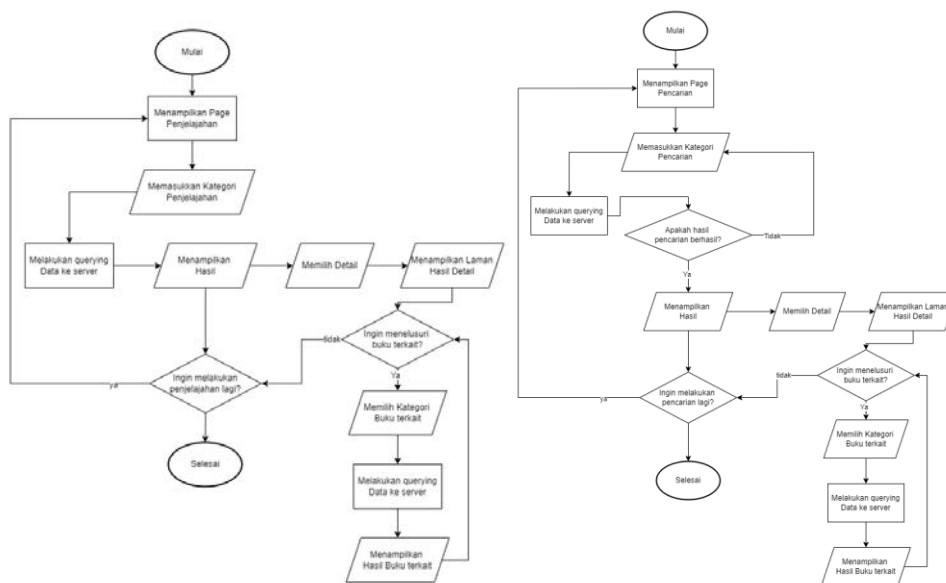
Gambar 2. Alur Metode Ontology

2. Perancangan Aplikasi

Proses ini menggunakan “Unified Modeling Language yang merupakan salah satu standar bahasa yang banyak digunakan di dunia industri untuk mendefinisikan requirement, dalam pemrograman berorientasi objek [5].”

- Use Case Diagram
Use case diagram merupakan pemodelan untuk kelakuan sistem informasi yang akan dibuat. “Use case bekerja dengan mendeskripsikan tipikal interaksi antara user sebuah sistem dengan sistemnya sendiri melalui sebuah cerita bagaimana sistem itu dipakai [5].”
- Activity Diagram
Diagram ini merupakan diagram yang dibentuk untuk menggambarkan aliran aktivitas maupun alur kerja (workflow) pada suatu aplikasi maupun sistem. Activity Diagram dapat menggambarkan urutan kegiatan pada suatu proses, membantu dalam memahami proses secara menyeluruh, serta dapat digunakan sebagai pendefinisian atau pengelompokan aliran tampilan dari suatu sistem.
- Sequence Diagram
Sequence diagram merupakan diagram yang menjelaskan kelakuan objek pada use case. Dimana mendeskripsikan waktu hidup objek dan pesan yang dikirimkan dan diterima antar objek.
- Perancangan Wireframe
Rancangan antarmuka yang akan ditujukan kepada user memiliki beberapa tahapan, tahapan sebelum dibentuknya user interface tipe High Fidelity adalah wireframe. Wireframe merupakan sebuah kerangka guna menata suatu item pada laman website maupun aplikasi.
- Flowchart Fungsi
Flowchart atau yang dapat disebut dengan diagram alir adalah suatu jenis diagram yang menggambarkan langkah-langkah instruksi yang berurutan dalam sistem. Flowchart pada pembangunan sistem dibagi menjadi 2 yaitu flowchart fitur penjelajahan dan flowchart fitur

pencarian. Pada gambar 3 terdapat flowchart fitur penjelajahan dan pencarian yang memiliki perbedaan pada tampilan hasil. Pada fitur pencarian terdapat kondisi berhasil dan tidaknya hasil pencarian.



Gambar 3. Flowchart Tiap Fungsi

c. **Membangun Prototype**

Tahapan selanjutnya merupakan pembangunan prototype sistem dari hasil pengumpulan kebutuhan dan perancangan. Pada tahapan ini dilakukan beberapa langkah yaitu mengimplementasi Ontologi ke dalam sistem, mengimplementasi Desain User Interface, dan Publikasi Sistem

d. **Evaluasi dan Perbaiki**

Pada tahapan ini akan dilakukan evaluasi dari perancangan yang telah dibangun. Tahapan ini memiliki tujuan guna menemukan apakah sistem yang dibuat sudah sesuai dengan keinginan. Selain itu tahapan ini juga bertujuan untuk memperbaiki rancangan hingga telah dianggap sudah benar.

2.4. Demonstration and Evaluation

Tahap Demonstration memberikan gambaran tentang penggunaan artefak yang telah disiapkan sesuai dengan solusi yang diusulkan. Tahapan ini melibatkan eksperimen, simulasi, studi kasus, bukti, atau aktivitas lain yang sesuai dengan kebutuhan. Tahapan ini akan dilakukan pengujian. Pengujian yang akan digunakan adalah pengujian penjelajahan semantik dan pencarian semantik. Dalam pengujian ini akan merekrut beberapa sejumlah peserta yang bersedia untuk melakukan pengujian sistem ini. Lalu tahapan Evaluation merupakan tahapan yang bertujuan untuk menilai dan memastikan model ontologi yang dirancang telah sesuai. Tahap ini berguna untuk mengetahui sejauh mana perkembangan sistem yang sedang berjalan dalam menyelesaikan masalah sebelumnya. Pada sistem ini akan dilakukannya 2 pengujian yaitu pengujian fungsional dan non-fungsional.

2.5. Communication

Tahap komunikasi adalah tahap akhir dimana penelitian akan dituliskan pada buku tugas akhir, dan akan diterbitkan dalam jurnal ilmiah.

3. Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini, hasil pengembangan sistem informasi buku diuraikan bersama dengan hasil pengujian dan evaluasi sistem tersebut.

3.1. Desain dan Pembangunan Sistem

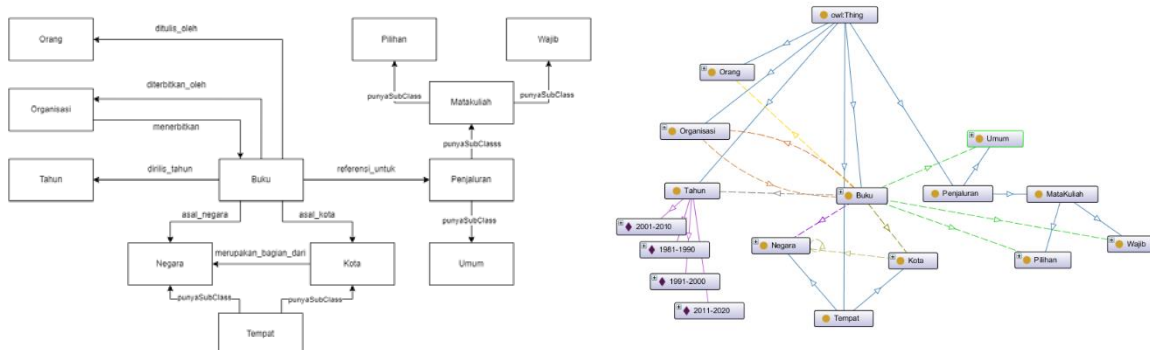
Dalam penerapan aplikasi SISIBUK, peneliti memanfaatkan langkah-langkah yang termasuk dalam metode *Design Science Research Method (DSRM)*, khususnya tahap desain dan pengembangan. Pada tahap desain, sejumlah aspek perlu diperhatikan, termasuk analisis kebutuhan, pengumpulan data, pembangunan model, dan perancangan antarmuka pengguna. Sementara itu, dalam tahap

pengembangan, dilakukan implementasi melalui penggunaan source code guna mewujudkan pembangunan sesuai dengan perancangan aplikasi yang telah disusun sebelumnya.

a. Desain

1. Pembangunan Model Ontologi

Dalam implementasi pembangunan ontologi pada domain buku dengan metode Methontology [3], tahap konseptualisasi ontologi bertujuan untuk mengatur dan mengelola pengetahuan yang diperoleh selama proses akuisisi pengetahuan. Pembangunan model ontologi dilakukan dengan menyusun hirarki berdasarkan kelas-kelas yang terdapat pada informasi Buku. Menurut Wijayanto (2020) terdapat konsep digilib dan semantik dalam membangun model ontologi. Struktur hirarki ontologi ini dibentuk berdasarkan komponen-komponen yang terkait dengan buku dan konsep digilib tersebut, seperti yang ditunjukkan dalam gambar berikut:

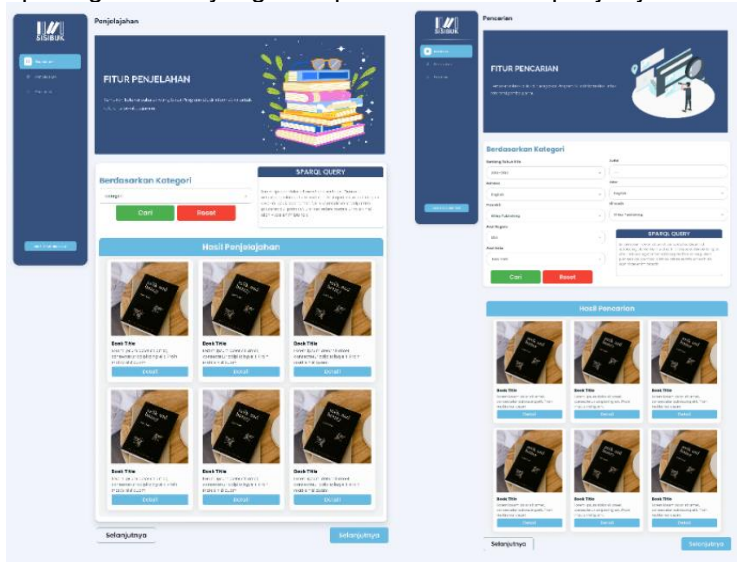


Gambar 4. Konseptual dan Implementasi Ontology Buku

Pada gambar 4 Terdapat 12 class yang terdapat pada ontologi Koleksi Buku. Terlihat pada class Buku yang akan berisikan instance terkait buku dan data property yang dimiliki suatu buku. Terdapat 8 Object Property pada ontologi Koleksi Buku. Masing-masing *Object Property* ini akan menghubungkan antar instance atau individual. Lalu terdapat 13 Data Property pada ontologi Koleksi Buku. Masing-masing Data Dimana Data Property ini digunakan untuk menghubungkan instance dengan datatype value seperti text, string, atau number.

2. Perancangan Aplikasi

Pada sistem yang akan dibangun, *User Interface* sistem akan ditujukan untuk user. Hal ini dapat dilihat pada gambar 5 yang merupakan UI dari fitur penjelajahan dan pencarian.

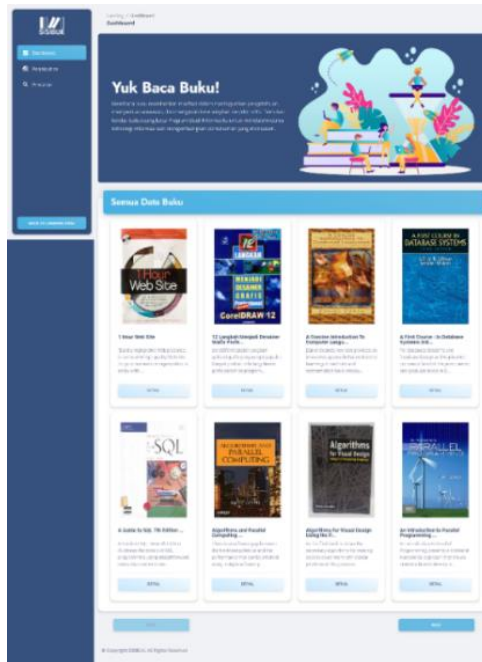


Gambar 5. User Interface pada fitur Penjelajahan dan Pencarian

b. Pembangunan Sistem

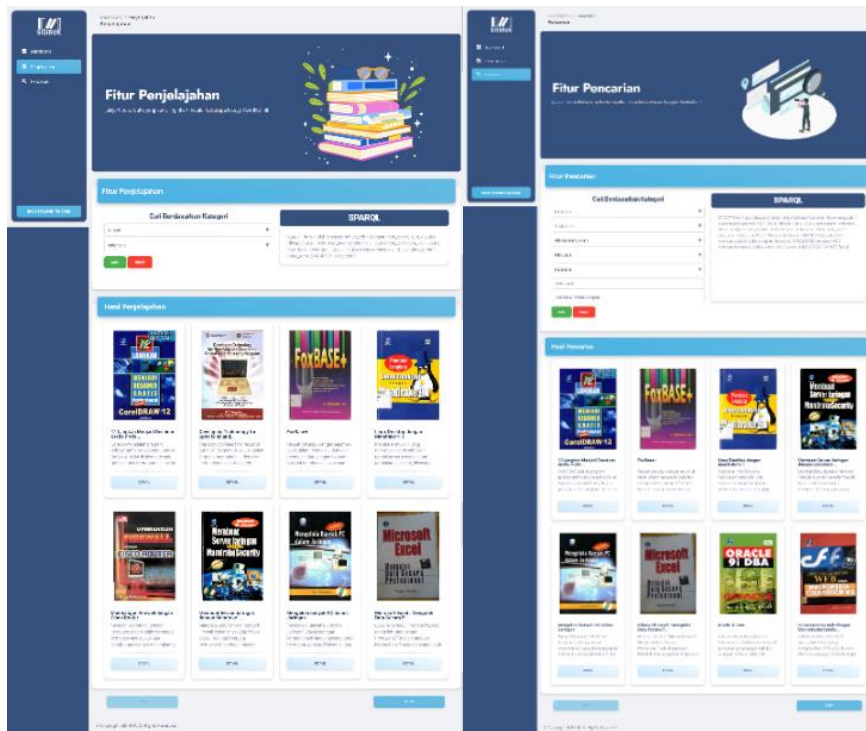
Pada tahap pembangunan sistem, akan dijelaskan penerapan sistem penjelajahan dan pencarian informasi buku menggunakan metode Prototyping. Implementasi sistem ini akan diuraikan berdasarkan tahapan-tahapan yang telah ditetapkan sebelumnya. Aplikasi SISIBUK ini hanya menggunakan satu jenis user, yaitu guest user, yang dimana user akan melakukan penelusuran serta pencarian pada aplikasi. Pada pembangunan aplikasi ini menggunakan server Apache Jena Fuseki. Selanjutnya

diperlukannya penghubung antara server dengan source code website yang digunakan setelah diunggahkannya data ke server. Tahap selanjutnya adalah implementasi antarmuka pengguna, termasuk tampilan yang akan diimplementasikan.



Gambar 6. Implementasi User Interface Halaman Dashboard

Pada gambar 6. merupakan implementasi dari laman dashboard untuk aplikasi SISIBUK. Pada halaman ini menampilkan informasi singkat, dan semua buku yang terdata pada aplikasi SISIBUK ini. Pada card Semua Data Buku menampilkan 8 buku secara ascending. User dapat melihat buku lainnya dengan menekan tombol prev atau next.



Gambar 7. Implementasi User Interface Halaman Penjelajahan dan Pencarian

Terlihat pada gambar 7. Dimana untuk halaman penjelajahan menampilkan informasi singkat, dan card yang berisikan formulir untuk melakukan penjelajahan. Dimana user akan menginputkan kategori pilihan untuk melakukan penjelajahan. Adapun pilihan kategori penjelajahan yaitu negara, kota, tahun, jalur, dan bahasa. Setelah user menginputkan akan menampilkan hasil pada card "Hasil Penjelajahan".

Tidak jauh berbeda dengan halaman pencarian yang menampilkan pilihan yang lebih banyak untuk melakukan pencarian.



Gambar 8. Implementasi User Interface Halaman Detail

Pada gambar 8. merupakan implementasi dari laman detail untuk aplikasi SISIBUK. Pada halaman ini menampilkan informasi lebih lengkap mengenai buku yang dipilih oleh pengguna dari laman dashboard/penjelajahan/pencarian. Pada laman detail ini pengguna dapat melakukan penjelajahan untuk mendapatkan buku yang terkait dengan memilih salah satu informasi. Informasi yang terpilih akan dilakukan proses query untuk mendapatkan hasil. Maka hasil proses query tersebut akan ditampilkan di bawah informasi detail buku.

3.2. Implementasi Pengujian dan Evaluasi Sistem

Pada pengujian aplikasi SISIBUK ini terdapat dua metode pengujian yaitu Pengujian *Blackbox Testing* dan Pengujian *Technology Acceptance Model* (TAM). Pada penelitian ini, peneliti mengambil responden dengan lingkup mahasiswa Program Studi Informatika Fakultas MIPA Universitas Udayana. Dimana memiliki 2 kriteria utama yakni kriteria jenis kelamin, dan angkatan akademis. Sehingga penulis melakukan pengujian dengan peserta yang berjumlah minimal 30 orang.

a. Pengujian Blackbox Testing

Tabel 1. Hasil Pengujian Blackbox Testing

| Kode | Hasil yang Diharapkan | Kesimpulan |
|------|--|------------|
| P1 | Menampilkan jumlah buku dengan asal negara terbit Canada pada sistem. | VALID |
| P2 | Menampilkan jumlah buku dengan asal kota terbit New Delhi pada sistem | VALID |
| P3 | Menampilkan jumlah buku dengan tahun terbit rentang 1981-1990 pada sistem | VALID |
| P4 | Menampilkan jumlah buku dengan referensi penjaluran J9 pada sistem | VALID |
| P5 | Menampilkan jumlah buku dengan bahasa Indonesia pada sistem | VALID |
| P6 | Menampilkan detail dari buku hasil penjelajahan tersebut serta menampilkan pula buku terkait yang memiliki penerbit yang sama | VALID |
| Q1 | Menampilkan buku yang dirilis pada kisaran tahun 2001-2010, dengan asal kota Jakarta, Indonesia berbahasa Inggris untuk Matakuliah Wajib | VALID |
| Q2 | Menampilkan buku untuk referensi penjaluran 9 (J9) yang berbahasa Inggris dan memiliki judul dengan kata "Design" | VALID |
| Q3 | Menampilkan buku untuk referensi penjaluran 4 (J4) yang berbahasa Inggris, berasal dari negara USA, dengan judul "Multimedia" | VALID |
| Q4 | Menampilkan buku dengan referensi penjaluran 2 (J2) yang memiliki sinopsis dengan kata "semantic" | VALID |
| Q5 | Menampilkan buku asal terbit Yogyakarta, Indonesia yang dapat dijadikan referensi untuk matakuliah wajib | VALID |

| Kode | Hasil yang Diharapkan | Kesimpulan |
|------|--|------------|
| Q6 | Menampilkan buku yang berjudul "Management Project" dimana pada sinopsis tertulis "plan" | VALID |

Hasil pengujian aplikasi SISIBUK diatas menunjukkan bahwa pengujian menggunakan metode blackbox testing sangat penting, karena setiap perangkat lunak harus diuji sebelum digunakan oleh pengguna. Dari 12 pengujian yang dilakukan, seluruhnya dinyatakan valid (10 hasil pengujian valid dan 0 hasil pengujian tidak valid). Diluar dari pengujian melalui 12 skenario ini, pada pengimplementasian semantik untuk sistem informasi buku yang dirancang ini belum sepenuhnya menerapkan konsep semantik. Aplikasi SISIBUK ini belum menerapkan algoritma untuk memahami secara eksplisit data dalam proses pencariannya. Knowledge yang digunakan hanya terbatas pada data properti.

b. Pengujian *Technology Acceptance Model* (TAM)

Setelah dilakukannya pengujian menggunakan blackbox testing dari segi fungsional. Selanjutnya dilakukannya evaluasi menggunakan metode "Technology Acceptance Model (TAM) berdasarkan evaluasi kemudahan (*perceived ease of use*), kebermanfaatan (*perceived usefulness*), serta sikap pengguna terhadap penerimaan teknologi (*Acceptance of IT*). Responden diminta untuk mengisi kuesioner dengan skala likert dari 1 hingga 5. [1]"

Tabel 2. Instrumen Pengujian TAM

| Variabel | Kode | Indikator |
|---|--------|---|
| Kemudahan (<i>Perceived Ease of Use</i>) | (PEU1) | Saya mudah mempelajari cara menggunakan Aplikasi SISIBUK |
| | (PEU2) | Saya terampil dalam menggunakan Aplikasi SISIBUK dengan mudah |
| | (PEU3) | Saya dapat menggunakan Aplikasi SISIBUK untuk mempermudah pekerjaan saya |
| | (PEU4) | Saya dapat berinteraksi dengan Aplikasi SISIBUK dengan jelas |
| | (PEU5) | Saya dapat memahami dengan baik cara berinteraksi dengan Aplikasi SISIBUK |
| | (PEU6) | Saya beranggapan bahwa Aplikasi SISIBUK merupakan program yang fleksibel |
| | (PEU7) | Saya dapat menggunakan SISIBUK dengan mudah |
| Kebermanfaatan (<i>Perceived Usefulness</i>) | (POU1) | Saya mampu mengerjakan pekerjaan lebih cepat dengan Aplikasi SISIBUK |
| | (POU2) | Saya beranggapan bahwa pekerjaan saya menjadi lebih mudah dengan menggunakan Aplikasi SISIBUK |
| | (POU3) | Saya dapat meningkatkan produktivitas kerja dengan Aplikasi SISIBUK |
| | (POU4) | Saya dapat meningkatkan efektivitas kerja dengan Aplikasi SISIBUK |
| | (POU5) | Saya beranggapan bahwa Aplikasi SISIBUK dapat berguna bagi saya |
| | (POU6) | Saya terbantu dengan mendapatkan informasi Buku melalui Aplikasi SISIBUK |
| Penerimaan (<i>Acceptance of IT</i>) | (AOT1) | Saya nyaman menggunakan Aplikasi SISIBUK |
| | (AOT2) | Saya menikmati penggunaan Aplikasi SISIBUK |
| | (AOT3) | Saya beranggapan bahwa Aplikasi SISIBUK tidak membosankan |
| | (AOT4) | Aplikasi SISIBUK menyediakan informasi yang saya butuhkan |
| | (AOT5) | Saya bekerja dengan mengacu pada informasi yang disediakan Aplikasi SISIBUK |
| | (AOT6) | Fitur Pencarian dan Penjelajahan Aplikasi SISIBUK menyediakan hasil yang akurat |
| | (AOT7) | Saya menggunakan Aplikasi SISIBUK dalam durasi waktu yang panjang |

Proses pengumpulan data ini dilakukan dengan penyebaran kuesioner kepada responden. Kuesioner berisikan 3 indikator pengujian dengan kode PEU, POU, dan AOT. Kriteria responden dalam pengujian ini merupakan mahasiswa aktif Program Studi Informatika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam dikarenakan aplikasi SISIBUK ini hanya bisa digunakan oleh mahasiswa dengan kriteria tersebut.

Pengumpulan data akan disebar menggunakan kuesioner online <https://docs.google.com/forms>. Dengan total responden yang berhasil mengisi form pengujian ini adalah 50 orang. Informasi responden yang diambil adalah jenis kelamin dan nomor induk mahasiswa. Berikut merupakan hasil dari pengumpulan data untuk pengujian TAM :

Tabel 3. Hasil Responden Pengujian TAM

| Responden | PEU | | | | | | | POU | | | | | | AOT | | | | | | |
|-----------|-----|---|---|---|---|---|---|-----|---|---|---|---|---|-----|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 4 | 5 |
| 2 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 |
| 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 |
| 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 6 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 |
| 7 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 |
| 8 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 |
| 9 | 5 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 5 |
| 10 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 |
| 11 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 3 |
| 12 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 13 | 4 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 |
| 14 | 5 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 |
| 15 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 16 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 3 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 5 |
| 17 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 18 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 |
| 19 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 |
| 20 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 5 | 5 |
| 21 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 |
| 22 | 5 | 5 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 | 3 |
| 23 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 3 |
| 24 | 4 | 3 | 4 | 5 | 4 | 3 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 | 3 | 3 |
| 25 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 5 | 3 | 5 | 4 | 5 | 3 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4 | 3 | 5 | 5 |
| 26 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 3 | 3 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 | 5 | 3 | 3 | 4 | 3 | 5 |
| 27 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 3 | 3 | 5 | 3 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 |
| 28 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 |
| 29 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 30 | 4 | 5 | 4 | 3 | 3 | 5 | 4 | 5 | 3 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 |
| 31 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 5 | 3 |
| 32 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 33 | 5 | 4 | 3 | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 |
| 34 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 |
| 35 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 |
| 36 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 |
| 37 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 38 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 |
| 39 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 |
| 40 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 |
| 41 | 4 | 4 | 3 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 3 |
| 42 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 |
| 43 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 44 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |

| Responden | PEU | | | | | | | POU | | | | | | AOT | | | | | | |
|-----------|-----|---|---|---|---|---|---|-----|---|---|---|---|---|-----|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 45 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 |
| 46 | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 4 | 3 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 |
| 47 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4 |
| 48 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 49 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 3 |
| 50 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |

Setelah mendapatkan data responden selanjutnya menguji validitas dan reliabilitas. Didapatkan hasil bahwa dari data responden tersebut untuk 3 variabel pengujian mendapatkan hasil valid dan reliabel. Setelah itu dilakukan analisis TAM dari ketiga variabel dengan menghitung nilai minimum, maksimum, dan rata-rata. Maka akan didapatkan statistik deskriptif sebagai berikut.

Tabel 4. Hasil Statistika Deskriptif

| Variabel | nl | $\sum SK$ | $\sum SH$ | P |
|----------|----|-----------|-----------|--------------|
| PEU | 7 | 1750 | 1584 | 90,51428571% |
| POU | 6 | 1500 | 1346 | 89,73333333% |
| AOT | 7 | 1750 | 1538 | 87,88571429% |

Secara keseluruhan, responden menunjukkan kesetujuan yang tinggi terhadap variabel kemudahan penggunaan (PEU), dengan persentase sebesar 90,51%. Ini menunjukkan bahwa mahasiswa menganggap aplikasi SISIBUK sangat mudah digunakan untuk memperoleh informasi buku. Variabel kebermanfaatan (POU) memiliki nilai persentase 89,73%, yang mengindikasikan bahwa mahasiswa merasa aplikasi SISIBUK sangat berguna dalam proses mendapatkan data dan informasi buku. Untuk variabel penerimaan (AOT), nilai persentasenya adalah 87,88%, menunjukkan bahwa penerimaan mahasiswa Program Studi Informatika terhadap aplikasi SISIBUK sangat tinggi.

4. Kesimpulan

Dapat disimpulkan bahwa, Perancangan sistem informasi buku dengan menggunakan metode Methontology dan prototyping Design Science Research Methodology (DSRM) dan Menthontology, mengintegrasikan langkah-langkah identifikasi masalah, pengembangan model ontologi buku, perancangan aplikasi, dan evaluasi sistem. Pengujian pada sistem menunjukkan hasil yang baik, pada pengujian blackbox testing dengan 12 total skenario telah menunjukkan hasil yang valid. Serta pada pengujian *Technology Acceptance Model* (TAM) menunjukkan hasil sangat tinggi pada 3 variabel, yaitu variabel kemudahan (PEU) sebesar 90,51%, variabel kebermanfaatan (POU) sebesar 89,73%, dan variabel penerimaan (AOT) sebesar 87,88%. Hal ini menunjukkan pengguna dapat sangat menerima aplikasi SISIBUK dalam membantu kegiatannya.

References

- [1] Mulyanto, A., Sumarsono, S., Niyartama, T. F., & Syaka, A. K. (2020). Penerapan Technology Acceptance Model (TAM) dalam Pengujian Model Penerimaan Aplikasi MasjidLink. *Semesta Teknika*, 23(1). <https://doi.org/10.18196/st.231253>
- [2] Orisa, M., Faisol, A., & Ashari, M. I. (2023). PERANCANGAN WEBSITE COMPANY PROFILE MENGGUNAKAN DESIGN SCIENCE RESEARCH METHODOLOGY (DSRM). In *JINTEKS* (Vol. 5, Issue 1).
- [3] Pramarta, C. (2020). Pengembangan Ontologi Tujuan Wisata Bali Dengan Pendekatan Kulkul Knowledge Framework. *SINTECH (Science and Information Technology) Journal*, 3(2), 77–89
- [4] Wijayanto, Hendra. 2020. Pencarian Katalog Buku Berbasis Semantik Web Fundamental Dan Implementasi. Penerbit: Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Dian Nuswantoro Semarang.
- [5] Wira, D., Putra, T., & Andriani, R. (2019). Unified Modelling Language (UML) dalam Perancangan Sistem Informasi Permohonan Pembayaran Restitusi SPPD. 7(1).

Penerapan *Machine Learning* Dalam Analisis Sentimen dan Pemodelan Topik Data Opini Kendaraan Listrik

Putu Ayu Novia Aryanti^{a1}, I Made Widhi Wirawan^{a2}, Anak Agung Istri Ngurah Eka Karyawati^{a3}, I Wayan Supriana^{a4}

^aProgram Studi Informatika, Universitas Udayana
Bali, Indonesia

¹niputunovia@email.com

²made_widhi@unud.ac.id

²eka.karyawati@unud.ac.id

²wayan.supriana@unud.ac.id

Abstract

Regulation of the Minister of Industry Number 6 of 2023 concerning Guidelines for Providing Government Assistance for the Purchase of Two-Wheeled Battery-Based Electric Motorized Vehicles is one of the government policies aimed at encouraging the growth of the domestic electric vehicle ecosystem. This study aims to analyze public opinion related to electric vehicles on social media Twitter and YouTube. Using the Support Vector Machine (SVM) method, this study classifies public sentiment into positive and negative, and uses Latent Dirichlet Allocation (LDA) to modelling topics in each sentiment. The results show that of the 492 public opinion test data, 244 data are labeled positive and 248 data are labeled negative. By using the parameters of polynomial kernel, C=1.0, and degree=2, the SVM model achieved accuracy, precision, recall, and F1-score of 86%. In addition, the best model for positive sentiment is the model with 3 topics resulting in a coherence value of 0.4437. The best model for negative sentiment is the model with 4 topics resulting in a coherence value of 0.47698. Data with positive sentiment discusses a lot about public support and interest in electric vehicles. Data with negative sentiment discusses a lot about electric vehicle subsidies that are less targeted.

Keywords: sentiment analysis, topic modelling, electric vehicles, support vector machine, latent dirichlet allocation

1. Pendahuluan

Kendaraan listrik merupakan alat transportasi bertenaga motor listrik dengan penyimpanan energi listriknya di dalam baterai. Kendaraan listrik dapat meliputi kendaraan beroda empat seperti mobil, maupun kendaraan beroda dua seperti sepeda motor, sepeda, dan skuter. Kendaraan listrik digadagadag sebagai kendaraan ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi yang berbahaya. [1] Sejarah awal kemunculan kendaraan listrik di Indonesia dimulai pada tahun 2012. Namun, kemajuan kendaraan listrik sempat mengalami tantangan. [2] Berdasarkan survei Charta Politika tahun 2022, dari 1220 responden dari seluruh masyarakat Indonesia 61% menyatakan kurang tertarik dengan kendaraan listrik. Keengganan tersebut dipicu oleh beberapa faktor seperti keraguan responden terkait teknologi yang digunakan, mahalnya harga kendaraan baru, dan kesulitan dalam menemukan penjual kendaraan listrik ataupun stasiun pengisian bahan bakar listrik di daerah tempat tinggal responden. [3]

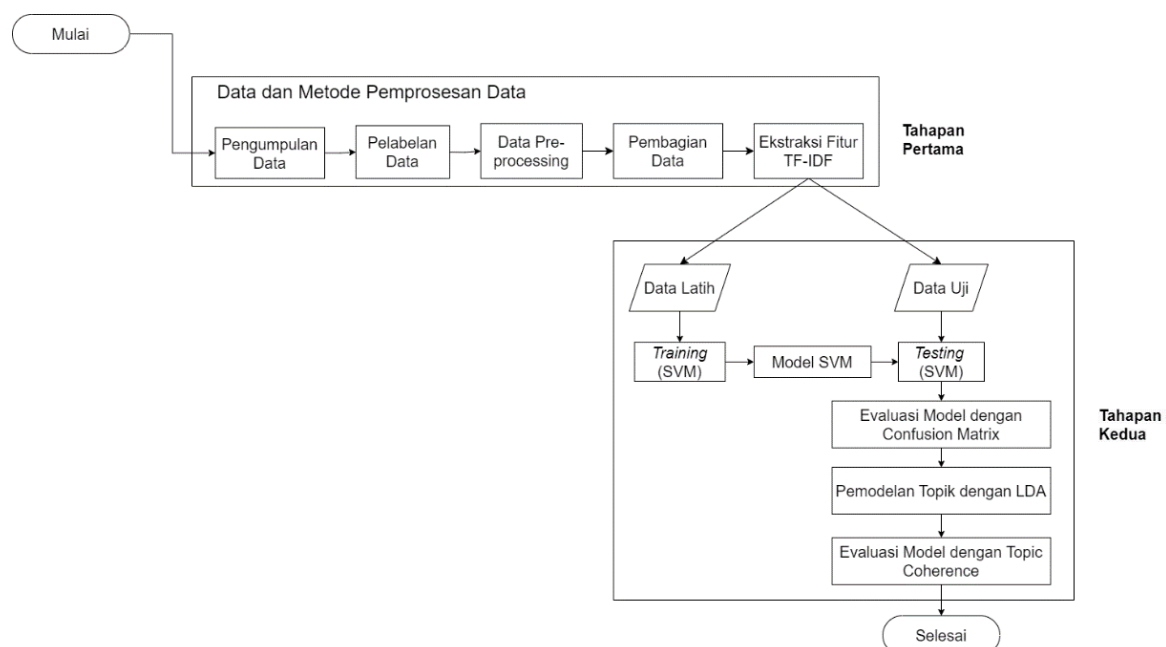
Dalam mengatasi kurangnya minat masyarakat tentang kendaraan listrik, Pemerintah Republik Indonesia mencanakan kebijakan untuk mendorong pertumbuhan ekosistem kendaraan listrik yang dituangkan pada Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 6 Tahun 2023 tentang Pedoman Bantuan Pemerintah untuk Pembelian Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai Roda Dua. Program bantuan tersebut berupa potongan harga sebesar Rp 7 juta untuk pembelian satu unit KBL berbasis baterai roda dua dan hanya berlaku untuk setiap Nomor Induk Kependudukan (NIK). [4] Kebijakan

lainnya dalam Peraturan Menteri Keuangan Nomor 38 Tahun 2023 tentang PPN atas Penyerahan Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai Roda Empat dan Kendaraan Baterai Bus Tertentu yang ditanggung Pemerintah tahun anggaran 2023. [5]

Dengan pemikiran ini, penulis tertarik untuk melakukan analisis sentimen dan pemodelan topik opini publik terhadap kendaraan listrik pada media sosial setelah kebijakan tersebut diberlakukan. Masalah analisis sentimen dengan berbagai metode *machine learning* sudah pernah dibahas dalam penelitian – penelitian sebelumnya diantaranya, penelitian [6] membahas mengenai analisis sentimen terhadap opini masyarakat pada sosial media YouTube dengan algoritma Naïve Bayes dengan nilai akurasi sebesar 82% serta polaritas sentimen yang didapat yaitu 82% sentimen negatif dan 18% sentimen positif. Penelitian lainnya [7] membahas mengenai analisis sentimen dan pemodelan topik pada review aplikasi Ruang Guru dengan Support Vector Machine (SVM) dan Latent Dirichlet Allocation (LDA) memperoleh nilai akurasi sebesar 90%. Penelitian terkait analisis sentimen [8] pendapat masyarakat tentang mobil listrik menggunakan metode SVM dan Selection Particle Swarm Optimization dengan tingkat akurasi sebesar 86,07%.

Berdasarkan dari penelitian sebelumnya, pada penelitian ini analisis sentimen dan pemodelan topik kendaraan listrik difokuskan pada obyek berupa opini publik pada Twitter dan YouTube dengan menggunakan salah dua metode *machine learning*. Analisis sentimen dengan menggunakan metode Support Vector Machine (SVM) dengan klasifikasi orientasi sentiment dalam dua jenis yaitu positif dan negatif. Serta pemodelan topik untuk mengungkap topik-topik yang tersembunyi pada hasil analisis sentimen dengan Latent Dirichlet Allocation (LDA).

2. Metode Penelitian



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

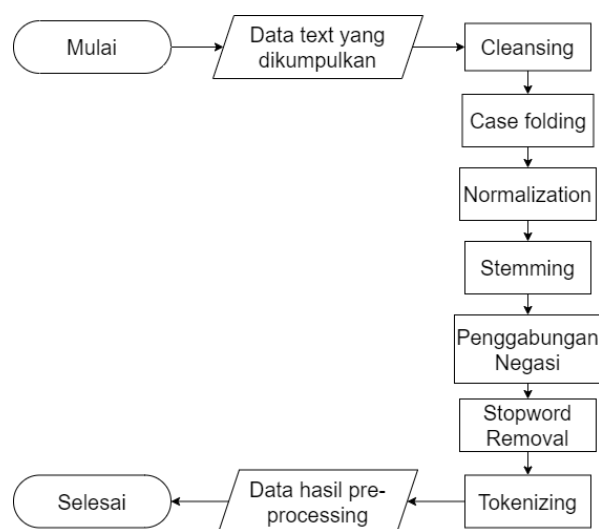
Tahapan dari penelitian ditunjukkan pada Gambar 1 yang terbagi menjadi dua tahapan utama. **Tahapan pertama**, berhubungan dengan data dan metode pemrosesan data yang meliputi: proses pengumpulan data opini masyarakat terkait kendaraan listrik dari media sosial Twitter dan YouTube dengan kata kunci “kendaraan listrik”, “mobil listrik”, dan “motor listrik”; pelabelan data oleh ahli; *data preprocessing* untuk membersihkan data yang telah dikumpulkan sehingga siap diproses pada tahapan selanjutnya; ekstraksi fitur TF-IDF; serta pembagian data. **Tahapan kedua** adalah pengembangan metode komputasi berupa pengembangan model analisis sentimen menggunakan *Support Vector Machine* (SVM) yang terdiri dari tahap pelatihan model (*training*), pengujian model (*testing*), dan proses evaluasi model dengan menggunakan *confusion matrix*. Setelah proses analisis sentimen selesai, akan

dilakukan pemodelan topik dengan metode *Latent Dirichlet Allocation* (LDA) pada hasil sentimen positif dan negatif dan evaluasi pemodelan topik dengan menggunakan *topic coherence* guna menentukan topik – topik yang merepresentasikan masing – masing kelas sentimen.

2.1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data opini masyarakat tentang kendaraan listrik menggunakan cara *data crawling* yang merupakan metode mengekstrak data secara otomatis dari sosial media dengan Graph API (*Application Programming Interface*). Pengumpulan data dilakukan pada sosial media YouTube dan Twitter dimulai pada tanggal 21 Maret 2023 hingga 30 Juni 2023 setelah ditetapkannya kebijakan baru pemerintah terkait kendaraan listrik, dengan jumlah data yang diambil sekitar 2492 opini dengan hanya data berbahasa Indonesia yang mengandung kata kunci “kendaraan listrik”, “mobil listrik”, dan “motor listrik”. Kemudian data dilabeli secara manual ke dalam sentimen positif atau negatif dengan bantuan ahli bahasa yang merupakan salah satu dosen Program Studi Sastra Indonesia Fakultas Ilmu Budaya Universitas Udayana. Dari hasil pelabel diperoleh data seimbang pada masing – masing sentimen dengan jumlah data untuk setiap label adalah 1246 data.

2.2. Pemrosesan Data



Gambar 2. Alur Pemrosesan Data

Pemrosesan data merupakan metode yang digunakan untuk menyiapkan set data sebelum dilakukannya pemodelan. Tahapan pemrosesan data termasuk salah satu tahapan yang penting dilakukan khususnya dalam pemodelan data tekstual karena bertujuan untuk mengekstrak data ke dalam format yang sama atau serupa. [9] Tahapan pemrosesan data yang diimplementasikan meliputi:

- Cleansing*, pembersihan data tekstual dengan cara menghilangkan sekumpulan karakter atau symbol khusus selain huruf dari data.
- Case folding*, melibatkan perubahan data tekstual ke dalam bentuk karakter huruf kecil.
- Normalization*, proses normalisasi data yang memiliki format salah karena salah ketik atau *typo* maupun kata tidak baku ke dalam format standar.
- Stemming*, proses mengubah kata pada data ke dalam bentuk kata dasar, seperti “menolak” menjadi “tolak”
- Penggabungan negasi*, menggabungkan dua kata yang berawalan kata ‘tidak’, ‘belum’, ‘jangan’, ‘kurang’ yang biasanya dikonotasikan atau bermakna negatif.
- Stopword removal*, penghapusan kata-kata dalam data yang memiliki makna minim, seperti kata ganti orang, kata penghubung, dan sebagainya.

2.3. Term Frequency-Inverse Document Frequency (TF-IDF)

TF-IDF merupakan teknik ekstraksi fitur kata ke dalam bobot angka yang mencerminkan seberapa besar kepentingan kata tersebut dalam suatu dokumen relatif terhadap koleksi dokumen lainnya. Secara sederhana perhitungan pembobotan TF-IDF dapat dianalogikan: “Jika suatu kata sering atau terus muncul dalam dokumen pertama, namun kata tersebut tidak muncul pada dokumen kedua atau dokumen lainnya, maka kata tersebut diartikan memiliki makna yang penting untuk dokumen pertama.” Teknik ekstraksi fitur ini dilakukan dengan menggabungkan dua metrik, yakni *Term Frequency* (TF) dan *Inverse Document Frequency* (IDF).

Secara matematis, TF-IDF dapat direpresentasikan sebagai berikut. [10]

$$w_{i,j} = tf_{i,j} \times \log\left(\frac{N}{df_i}\right) \quad (1)$$

- $tf_{i,j}$ merupakan TF (*Term Frequency*), frekuensi kemunculan kata i dalam dokumen j . Dihitung dengan membagi jumlah kemunculan kata i dalam dokumen j dengan total seluruh kata dalam dokumen j .
- df_i merupakan frekuensi atau jumlah dokumen yang mengandung kata i yang berperan mengukur pentingnya istilah di setiap korpus.
- N merupakan jumlah dokumen.

2.4. Support Vector Machine (SVM)

Support Vector Machine (SVM) merupakan algoritma pengenalan pola yang dapat digunakan dalam menyelesaikan masalah klasifikasi, regresi, dan deteksi linear. Secara sederhana konsep SVM merupakan upaya untuk menemukan *hyperplane* terbaik yang berperan sebagai pemisah antara dua kelas atau lebih pada suatu ruang input. *Hyperplane* terbaik ditemukan dengan cara mengukur margin atau jarak antara *hyperplane* dengan pola kelas terdekat. [11] Dalam permasalahan klasifikasi biner atau dua kelas, *hyperplane* atau pemisah dua kelas dapat diilustrasikan secara garis linear. Namun pada kenyataannya, sebaran data cenderung beragam sehingga cukup sulit jika dipisahkan secara linear. Untuk mengatasi hal ini, SVM memperkenalkan fungsi kernel, yang memungkinkan transformasi ruang data asli menjadi ruang data baru dengan dimensi yang lebih tinggi dan lebih mudah dipisahkan berdasarkan kategori data yang telah ditentukan. Terdapat empat jenis kernel yang diperkenalkan pada SVM, diantaranya kernel *linear*, *radial basis function* (RBF), *sigmoid*, dan *polynomial*. Dimana setiap kernel memiliki parameter yang perlu dioptimasi untuk mendapatkan kinerja model terbaik. [12]

Tabel 1. Kernel Support Vector Machine (SVM)

| No | Fungsi Kernel | Formula | Parameter |
|----|---------------|---|-------------------------|
| 1 | Linear | $K(X_i, X_j) = (X_i, X_j)$ | C dan γ |
| 2 | RBF | $K(X_i, X_j) = \exp(-\gamma \ X_i - X_j\ ^2 + C)$ | C dan γ |
| 3 | Sigmoid | $K(X_i, X_j) = \tanh(\gamma (X_i, X_j + r))$ | $C, r,$ dan γ |
| 4 | Polynomial | $K(X_i, X_j) = (\gamma (X_i, X_j) + r)^d$ | $C, \gamma, r,$ dan d |

Dimana,

- X_i merupakan *support vector data*, dengan $i = 1, 2, 3, 4, 5, \dots$
- X_j merupakan nilai data ke- j
- C merupakan *cost*
- γ merupakan *gamma*
- r merupakan *coefficient* atau koefisien
- d merupakan *degree*

2.5. Hyperparameter Tuning

Dalam konteks pembelajaran mesin, *hyperparameter tuning* merupakan proses menetapkan parameter model sebelum memulai proses pembelajaran. Parameter model mengacu pada bobot dan koefisien yang diturunkan dari data oleh algoritma. Setiap algoritma memiliki set *hyperparameter* yang berbeda. Proses *hyperparameter tuning* berperan dalam memaksimalkan kinerja model pada data validasi.

2.6. K-Fold Cross Validation

Cross validation atau validasi silang merupakan salah satu metode yang digunakan dalam analisis data untuk memvalidasi atau mengestimasi kinerja model pembelajaran statistik. Dengan kata lain, *cross validation* berperan untuk mengevaluasi seberapa baik mesin statistik menggeneralisasi data baru yang tidak digunakan dalam pelatihan model. Dalam *k-fold cross validation*, set data dibagi secara acak berdasarkan k kelipatan atau kelompok dengan ukuran yang kurang lebih sama. Salah satu subset digunakan sebagai data pengujian atau data validasi dan subset lainnya digunakan sebagai data pelatihan. Metode ini sangat akurat digunakan dalam mengevaluasi kinerja model, tetapi memerlukan lebih banyak sumber daya komputasi. Dalam praktiknya, pilihan jumlah k dapat disesuaikan tergantung pada ukuran set data, meskipun jumlah k=5 dan k=10 merupakan pilihan kelipatan yang paling umum digunakan. [13]

2.7. Confusion Matrix

Matriks digunakan untuk menilai performa model *machine learning*. Dalam konteks klasifikasi, hasil perhitungan performa model dapat dirangkum dalam *confusion matrix*, yang membagi hasil tes data sampel ke dalam empat kategori tergantung label data sebenarnya (*true label*) dan label data hasil prediksi (*predicted label*). [14]

Tabel 2. Confusion matrix

| | | True Label | |
|-----------------|----------|------------|----------|
| | | Positive | Negative |
| Predicted Label | Positive | TP | FP |
| | Negative | FN | TN |

Dalam evaluasi model klasifikasi, interpretasi hasil digambarkan dalam *confusion matrix* yang terdiri dari *True Positive* (TP), *True Negative* (TN), *False Positive* (FP), dan *False Negative* (FN). TP merujuk pada jumlah data sentimen positif yang benar-benar diprediksi positif oleh model. TN mengindikasikan jumlah data sentimen negatif dan diprediksi negatif oleh model. FP mengacu pada jumlah data sentimen yang sebenarnya negatif tetapi salah diprediksi positif oleh model, sedangkan FN menunjukkan jumlah data sentimen yang sebenarnya positif tetapi salah diprediksi sebagai negatif oleh model. Dalam konteks interpretasi, tujuan utamanya adalah mengoptimalkan jumlah TP dan TN serta mengurangi jumlah FP dan FN sehingga diperoleh model *machine learning* dengan performa yang optimal. [14]

Matriks *precision*, *recall*, *F1-score*, dan *accuracy* akan digunakan dalam penelitian ini untuk menilai performa pada model SVM, yang direpresentasikan sebagai berikut.

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (2)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (3)$$

$$F_1 - score = \frac{2TP}{2TP+FP+FN} \quad (4)$$

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+FP+TN+FN} \quad (5)$$

2.8. Latent Dirichlet Allocation (LDA)

LDA merupakan salah satu metode pemodelan topik yang populer. LDA dapat digunakan untuk menguraikan makna simantik teks untuk menentukan topik utama. Konsep dasar LDA adalah setiap topik diwakili oleh sebuah kata yang mirip dengan kata lainnya dan setiap dokumen dapat diwakili oleh sejumlah topik. Setiap dokumen akan direpresentasikan ke dalam sebuah topik yang berisi istilah-istilah dalam dokumen tersebut menurut LDA. Tidak penting untuk mengubah kata-kata dokumen atau perubahan konten karena LDA memandang setiap dokumen sebagai sekumpulan kata. [15]

Secara matematis, distribusi dari variable laten (topik dan penugasan topik) dan variable yang diamati (kata-kata) dalam satu dokumen dapat dapat direpresentasikan sebagai berikut. [15]

$$p(\theta, z, w \mid \alpha, \beta) = p(\theta \mid \alpha) \left(\prod_{n=1}^N p(z_n \mid \theta) p(w_n \mid z_n, \beta) \right) \quad (6)$$

Kemudian distribusi marginal dari satu dokumen diperoleh dengan mengintegrasikan θ dan menjumlahkan z :

$$p(w \mid \alpha, \beta) = \int p(\theta \mid \alpha) \left(\prod_{n=1}^N \sum_{z_n} p(z_n \mid \theta) p(w_n \mid z_n, \beta) \right) \quad (7)$$

Terakhir dengan dengan mengalikan probabilitas distribusi marginal diperoleh probabilitas dari satu corpus:

$$p(D \mid \alpha, \beta) = \prod_{d=1}^M \int p(\theta_d \mid \alpha) \left(\prod_{n=1}^{N_d} \sum_{z_{dn}} p(z_{dn} \mid \theta) p(w_{dn} \mid z_{dn}, \beta) \right) \quad (8)$$

Dimana:

- θ adalah distribusi topik dokumen.
- z adalah penugasan untuk setiap kata.
- w adalah kata yang diamati.
- α adalah parameter distribusi topik per dokumen.
- β adalah parameter distribusi kata per topik.
- D adalah panjang dokumen.
- θ_d adalah variable tingkat dokumen, disampel satu kali per dokumen.
- z_{dn} dan w_{dn} adalah variable tingkat kata, disampe satu kali untuk setiap kata dalam setiap dokumen.

2.9. Topic Coherence

Topic coherence merupakan salah satu pengukuran pada model pemodelan topik yang membantu dalam membedakan topik yang ditafsirkan secara simantik dari topik yang merupakan hasil dari inferensi statistik. *Topic coherence* didefinisikan sebagai rata-rata dari *coherence score* tertentu untuk setiap pasangan kata. Misalnya, untuk topik dengan kata – kata [politik, negara, Indonesia], akan dihitung nilai koherensi untuk setiap pasangan kata (politik, negara), (politik, Indonesia), dan (negara, Indonesia), kemudian hasil nilai koherensi dihitung berdasarkan nilai rata – rata setiap pasang kata tersebut untuk menadapatkan nilai koherensi topik. Secara matematis dapat direpresentasikan sebagai berikut. [16]

$$TopicCoherence(z, D) = mean\{score(w_i, w_j, \epsilon)\} \quad (9)$$

Dimana:

- z adalah sebuah topik (sekumpulan kata yang mendeskripsikan z)
- D adalah koleksi dokumen (sekumpulan dokumen)
- $score$ adalah ukuran koherensi antara sepasang kata
- V merepresentasikan seluruh kosakata yang ada di D
- w_i, w_j merepresentasikan sepasang kata yang mendeskripsikan topik
- $Term\ epsilon$, digunakan sebagai smoothing value tergantung pada sifat dataset dan mencegah terjadinya nilai ekstrim.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Analisis Sentimen dengan SVM

Pemodelan analisis sentimen dengan SVM memperhatikan beberapa *hyperparameter tuning*, diantanya fungsi kernel, C , γ , dan $degree$ yang bertujuan untuk menentukan parameter terbaik dari model SVM. Fungsi kernel yang digunakan dalam skenario pengujian ini adalah *linear*, RBF, *sigmoid*, dan *polynomial*. Untuk *hyperparameter* “ C ” akan digunakan rentang 0,1; 1,0; dan 10,0. Untuk *hyperparameter* γ atau γ adalah 0,0001; 0,001; 0,01; 1,0; 0,1; dan 10,0. Serta untuk untuk *hyperparameter* $degree$ (d) adalah 1; 2; 3; 4; dan 5.

Dataset akan dibagi menjadi dua, yaitu data *training* dan *testing*, dengan jumlah 2000 data *training* dan 492 data *testing*. Proses *hyperparameter tuning* menggunakan teknik *grid search* untuk memungkinkan eksplorasi berbagai *hyperparameter*. Pengujian model awal dilakukan pada data *training* menggunakan *10-fold cross validation*, artinya data dibagi menjadi 10 subset (bagian). Kombinasi 9 subset yang berbeda digabungkan dan digunakan sebagai data *training* dan 1 subset sisa digunakan sebagai data *validation*. Dari masing - masing kernel nanti akan dipilih hasil *hyperparameter tuning* terbaik, dengan memperhatikan nilai rata - rata akurasi *train* dan *validation*, *precision*, *recall*, dan *f-1 score*. Setiap kernel dengan konfigurasi *hyperparameter* yang optimal telah dipilih berdasarkan kinerja model pada data validasi seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan Hasil Setiap Kernel pada Proses Tuning

| Kernel | C | γ | d | Accuracy | Precision | Recall | F-1 Score |
|------------|------|----------|-----|----------|-----------|--------|-----------|
| linear | 1,0 | - | - | 0,849 | 0,8497 | 0,849 | 0,8489 |
| rbf | 10,0 | 1,0 | - | 0,8615 | 0,862 | 0,8615 | 0,8615 |
| sigmoid | 1,0 | 1,0 | - | 0,844 | 0,8448 | 0,844 | 0,8439 |
| polynomial | 1,0 | - | 2 | 0,8625 | 0,8632 | 0,8625 | 0,8624 |

Proses pengujian dilanjutkan pada data *testing* bertujuan untuk mengevaluasi kinerja model yang telah di-*tuning* dengan menggunakan data yang belum pernah dilihat sebelumnya, sehingga dapat memberikan gambaran terhadap kemampuan model dalam memprediksi data baru. Untuk memilih model SVM dengan kernel yang paling sesuai dengan analisis sentimen pada kendaraan listrik mengacu pada model dengan akurasi, *precision*, *recall*, dan *f-1 score testing* tertinggi. Adapun hasil pengujian model setiap jenis kernel pada data *testing* ditunjukkan pada Tabel 4. Dalam pengujian ini, hasil menunjukkan model SVM dengan kernel *polynomial* dengan $C=1.0$ dan derajat=2 memberikan hasil terbaik dan konsisten dengan akurasi sebesar 0,8618; presisi 0,86; recall 0,86; dan F-1 score 0,86. Meskipun demikian, model SVM kernel RBF dengan $C=10.0$ dan $\gamma=1.0$ juga memberikan performa yang baik dan konsisten pada akurasi, presisi, recall, dan F-1 score dengan nilai sebesar 0,85. Namun, performa kernel RBF pada proses *tuning* dengan pengujian data *testing* mengalami sedikit penurunan. Sedangkan untuk model SVM kernel *linear* dan *sigmoid* menunjukkan performa yang hampir serupa dengan akurasi, presisi, recall, dan F-1 score sekitar 0,84.

Tabel 4. Hasil Pengujian Data Testing pada Setiap Kernel

| Kernel | C | γ | d | Accuracy | Precision | Recall | F-1 Score |
|-------------------|------------|----------|----------|---------------|-------------|-------------|-------------|
| linear | 1,0 | - | - | 0,841 | 0,84 | 0,84 | 0,84 |
| rbf | 10,0 | 1,0 | - | 0,8536 | 0,85 | 0,85 | 0,85 |
| sigmoid | 1,0 | 1,0 | - | 0,8435 | 0,84 | 0,84 | 0,84 |
| polynomial | 1,0 | - | 2 | 0,8618 | 0,86 | 0,86 | 0,86 |

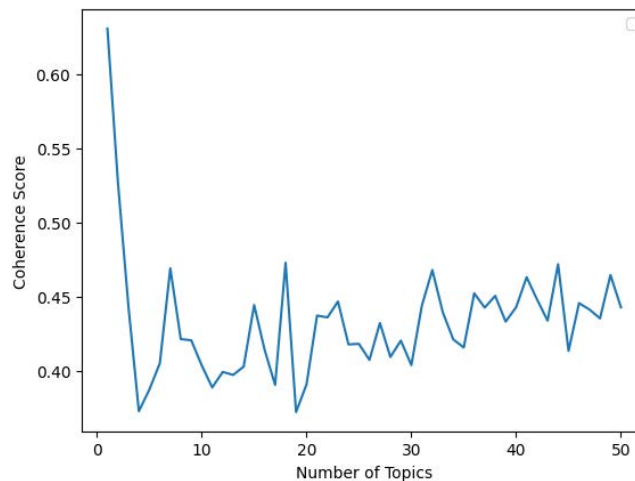
Adapun hasil analisis sentimen pada data *testing* dapat dilihat pada *confusion matrix* hasil prediksi pada Tabel 5. Dari 492 data uji, sudah terdapat cukup banyak prediksi yang dihasilkan akurat sesuai dengan data aktual baik pada data dengan sentiment positif maupun negatif, yakni jumlah TP sebesar 211 dan jumlah TN sebesar 213. Hal ini menunjukkan model SVM yang telah dioptimasi berdasarkan tuning parameter baik dan andal dalam memprediksi sentimen terkait kendaraan listrik.

Tabel 5. *Confusion Matrix* Hasil Prediksi Analisis Sentimen Kendaraan Listrik

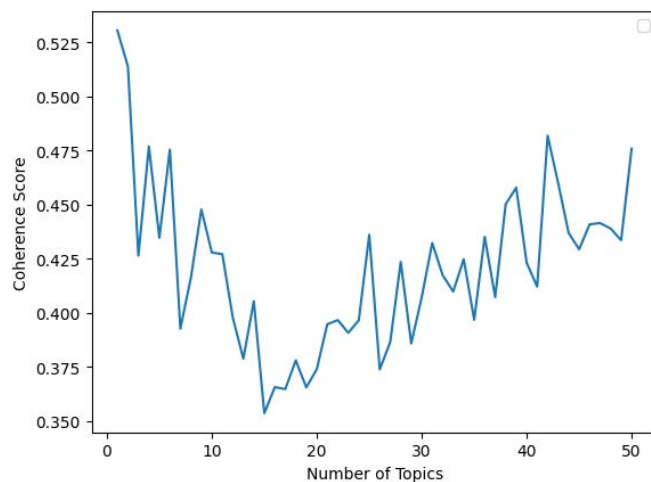
| | | True Label | |
|-----------------|----------|------------|----------|
| | | Positive | Negative |
| Predicted Label | Positive | 211 | 33 |
| | Negative | 35 | 213 |

3.2. Hasil Pemodelan Topik dengan LDA

Dalam pemodelan topik dengan LDA diperlukan adanya uji koherensi untuk memperoleh model terbaik. Dalam menentukan memperoleh nilai koherensi yang maksimal terdapat beberapa parameter yang dapat di-*tuning* salah satunya adalah jumlah atau banyak topik. Representasi banyak topik pada model LDA yang digunakan dalam rentang topik 1 hingga 50. Nantinya akan dipilih banyak topik yang paling baik dengan mempertimbangkan nilai koherensinya.



Gambar 3. Grafik Sebaran Nilai Koherensi pada Sentimen Positif



Gambar 4. Grafik Sebaran Nilai Koherensi pada Sentimen Negatif

Ditujukan pada Gambar 3, grafik nilai koherensi pada pemodelan topik sentimen positif dengan menunjukkan nilai yang tinggi pada jumlah topik satu dan adanya peningkatan nilai koherensi seiring dengan meningkatnya jumlah topik (*flattening out*). Jika nilai koherensi pada satu topik sangat besar, itu dapat menunjukkan bahwa model hanya mencoba menemukan pola umum dari seluruh korpus, bukan topik – topik spesifik secara terperinci. Sedangkan ketika meningkatnya jumlah topik, memungkinkan model untuk memiliki lebih banyak fleksibilitas dalam menemukan pola – pola dalam data. Namun, peningkatan jumlah topik sering kali menimbulkan tumpang tindih antar topik. Sehingga jumlah topik yang memiliki nilai koherensi tertinggi sebelum terjadi *flattening out*, yaitu jumlah topik sebanyak 3 topik dengan nilai koherensi 0,4437 dipilih sebagai model LDA paling stabil dan baik untuk sentimen positif. Sedangkan pada Gambar 4, grafik nilai koherensi pada pemodelan topik sentimen negatif dengan 150 iterasi juga menunjukkan nilai yang tinggi pada jumlah topik satu dan adanya *flattening out*. Sehingga jumlah topik yang memiliki nilai koherensi tertinggi sebelum terjadi *flattening out*, yaitu jumlah topik sebanyak 4 topik dengan nilai koherensi 0,47698 dipilih sebagai model LDA pada sentimen negatif.

Adapun hasil pemodelan topik pada data kendaraan listrik dengan sentiment positif dan negatif ditunjukkan pada Tabel 6 dan 7.

Tabel 6. Hasil Pemodelan Topik Sentimen Positif

| Topik | Kata |
|-------|--|
| 1 | '0.006**"dukung" + 0.005**"mantap" + 0.005**"alih" + 0.005**"terus" + '0.005**"baik" + 0.004**"solusi" + 0.004**"polusi" + 0.004**"suka" + '0.004**"lanjut" + 0.003**"suara" |
| 2 | '0.010**"tujuan" + 0.007**"lebih" + 0.007**"bagus" + 0.006**"orang" + 0.006**"beli" + '0.005**"banyak" + 0.005**"polusi" + 0.005**"kurang" + 0.005**"buat" + '0.005**"minyak" |
| 3 | '0.010**"minyak" + 0.010**"bahan" + 0.009**"bakar" + 0.008**"indonesia" + '0.007**"pakai" + 0.006**"negara" + 0.006**"jadi" + 0.006**"lebih" + '0.006**"banget" + 0.005**"kalau" |

Pada data dengan sentimen positif, Topik 1 dapat diinterpretasikan bahwa dibahas tentang dukungan masyarakat akan transisi kendaraan listrik. Kata yang menekankan dukungan diwakili dengan kata “dukung”, “mantap”, “suka”, “terus”, “baik”, dan “lanjut”.

Topik 2, dapat diinterpretasikan tentang minat masyarakat terhadap kendaraan listrik yang diwakili dengan kata “bagus”, “orang”, “banyak”, dan “beli” menekankan tentang persepsi positif, ketertarikan, dan tindakan konsumtif masyarakat untuk membeli kendaraan listrik sebagai alternatif.

Topik 3, dapat diinterpretasikan tentang peran Indonesia dalam transisi ke kendaraan listrik. Diwakili dengan kata “Indonesia”, “pakai”, “negara”, “jadi”, dan “kalau” yang menggambarkan pentingnya Indonesia menjadi salah satu negara pelopor kendaraan listrik. Selain itu, kata “minyak”, “bahan”, “bakar” menyoroti kebutuhan untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil.

Tabel 7. Hasil Pemodelan Topik Sentimen Negatif

| Topik | Kata |
|-------|--|
| 1 | '0.012**"orang" + 0.010**"kaya" + 0.009**"beli" + 0.008**"buat" + 0.007**"bahan" ' + 0.007**"bakar" + 0.006**"lebih" + 0.006**"baterai" + 0.006**"pribadi" + '0.006**"mampu" |
| 2 | '0.006**"untung" + 0.006**"orang" + 0.005**"usaha" + 0.005**"rakyat" + '0.005**"batu bara" + 0.005**"bangkit" + 0.005**"sumber" + 0.004**"bodoh" + '0.004**"listrik" + 0.004**"beli" |
| 3 | '0.005**"buat" + 0.005**"juta" + 0.004**"beli" + 0.004**"rakyat" + 0.004**"orang" ' + 0.004**"lebih" + 0.004**"jadi" + 0.004**"kalau" + 0.004**"baik" + '0.004**"subsidi" |
| 4 | '0.008**"mahal" + 0.006**"harga" + 0.006**"rakyat" + 0.005**"orang" + '0.005**"kalau" + 0.005**"beli" + 0.004**"lebih" + 0.004**"buat" + 0.004**"butuh" ' + 0.004**"bukan" |

Pada data dengan sentimen negatif, Topik 1, dapat diinterpretasikan tentang sentimen masyarakat bahwa subsidi kendaraan listrik tidak tepat sasaran. Tidak tepat sasaran tersebut diwakilkan dengan kata “orang”, “kaya”, “mampu”, “beli”, “buat”, “lebih” yang menyoroti persepsi bahwa subsidi kendaraan listrik hanya diperuntukkan atau hanya dapat dinikmati oleh orang kaya atau orang yang mampu.

Topik 2, dapat diinterpretasikan sebagai topik yang membahas subsidi kendaraan listrik hanya untuk kepentingan atau menguntungkan pengusaha dan tantangan infrastruktur.

Topik 3, diinterpretasikan mengenai kendala finansial dalam pembelian kendaraan listrik. Kata “buat”, “juta”, “beli”, “rakyat”, dan “orang” menggambarkan tantangan finansial yang dihadapi masyarakat dalam membeli kendaraan listrik yang harganya sangat tinggi, bahkan mencapai jutaan rupiah.

Topik 4 memiliki interpretasi yang hampir mirip dengan topik 3 membahas mengenai persepsi masyarakat yang melihat kendaraan listrik sebagai produk yang mahal. Kata “mahal” dan “harga” menyoroti biaya tinggi yang harus dikeluarkan untuk membeli kendaraan listrik.

4. Kesimpulan

Penerapan metode *machine learning* dalam analisis sentimen dan pemodelan topik dapat digunakan dengan cukup baik pada data opini kendaraan listrik. Dari 492 data uji opini masyarakat tentang kendaraan listrik yang diperoleh melalui media sosial Twitter dan YouTube sebanyak 244 data berlabel positif dan 248 data berlabel negatif. Dari proses analisis sentimen dengan model SVM menghasilkan performa terbaik dan konsisten dengan parameter parameter kernel polynomial dengan nilai $C=1.0$ dan $degree=2$, mencapai nilai akurasi, presisi, recall, dan F1-score masing – masing sebesar 0,86 atau dalam persentase sebesar 86%.

Pada pemodelan topik data kendaraan listrik menggunakan model LDA. Pengelompokkan topik dilakukan untuk masing – masing jenis sentimen positif dan negatif, dengan uji coba parameter jumlah topik. Model LDA terbaik untuk sentimen positif adalah model dengan jumlah topik 3 dan menghasilkan nilai coherence sebesar 0,4437. Data dengan sentimen positif banyak membahas tentang dukungan dan ketertarikan masyarakat tentang kendaraan listrik. Sedangkan model LDA terbaik untuk sentimen negatif adalah model dengan jumlah topik 4 dan menghasilkan nilai coherence sebesar 0,47698. Data dengan sentimen negatif banyak membahas tentang subsidi kendaraan listrik yang dinilai kurang tepat sasaran, infrastruktur yang belum memadai, dan persepsi masyarakat tentang kendaraan listrik sebagai produk yang mahal.

Referensi

- [1] R. A. Subekti, H. Sudibyoy, V. Susanti, H. M. Saputra, and A. Hartanto, *Peluang dan Tantangan Pengembangan Mobil Listrik Nasiona*, Pertama. Jakarta: LIPI Press, 2014.
- [2] Nissan, "Kisah Sejarah Mobil Listrik, Dari Ide Menjadi Mobil Masa Depan," *nissan.co.id*, 2022. <https://nissan.co.id/new-press/artikel/kisah-sejarah-mobil-listrik-dari-ide-menjadi-mobil-masa-depan/> (accessed Mar. 21, 2023).
- [3] S. Sandya, "Banyak Masyarakat Belum Minat Pakai Mobil Listrik, Ini Alasannya," *dataindonesia.id*, 2022. <https://dataindonesia.id/sektor-riil/detail/banyak-masyarakat-belum-minat-pakai-mobil-listrik-ini-alasannya> (accessed Mar. 25, 2023).
- [4] Yusuf, "Beli Motor Listrik Dapat Bantuan Pemerintah Rp7 Juta, Ini Syaratnya!," *kominfo.go.id*, 2023. <https://www.kominfo.go.id/content/detail/48097/beli-motor-listrik-dapat-bantuan-pemerintah-rp7-juta-ini-syaratnya/0/berita> (accessed Mar. 25, 2023).
- [5] P. Indonesia, *Peraturan Menteri Keuangan Nomor 38 Tahun 2023*. Jakarta: Menteri Keuangan Republik Indonesia, 2023.
- [6] A. Erfina and R. A. Lestari, "Sentiment Analysis of Electric Vehicles using the Naïve Bayes Algorithm," *Sistemasi*, vol. 12, no. 1, p. 178, 2023, doi: 10.32520/stmsi.v12i1.2417.
- [7] M. R. Fahlevvi, "Sentiment Analysis And Topic Modeling on User Reviews of Online Tutoring Applications Using Support Vector Machine and Latent Dirichlet Allocation," *Knowbase Int. J. Knowl. Database*, vol. 2, no. 2, p. 142, 2022, doi: 10.30983/knowbase.v2i2.5906.
- [8] A. Santoso, A. Nugroho, and A. S. Sunge, "Analisis Sentimen Tentang Mobil Listrik Dengan Metode Support Vector Machine Dan Feature Selection Particle Swarm Optimization," *J. Pract. Comput. Sci.*, vol. 2, no. 1, pp. 24–31, 2022, doi: 10.37366/jpcs.v2i1.1084.
- [9] S. Celik and S. Gulsecen, "Data Pre-processing in Text Mining CHAPTER 7 DATA PRE-PROCESSING IN TEXT MINING," no. December, pp. 122–144, 2020, doi: 10.26650/B/ET06.2020.011.07.
- [10] S. Vajjala *et al.*, *Practical Natural Language Processing*. O'Reilly Media, Inc., 2020.
- [11] A. . Nugroho, A. . Witarto, and D. Handoko, *Support Vector Machine – Teori dan Aplikasinya dalam Bioinformatika*. 2003.
- [12] M. A. Nanda, K. B. Seminar, D. Nandika, and A. Maddu, "A Comparison Study of Kernel Functions in the Support Vector Machine and A Comparison Study of Kernel Functions in the Support Vector Machine and Its Application for Termite Detection," no. January, 2018, doi: 10.3390/info9010005.
- [13] O. A. Montesinos López, M. L. A, and C. J. Cham, *Multivariate Statistical Machine Learning Methods for Genomic Prediction*. 2022.
- [14] G. Varoquaux and O. Colliot, *Evaluating machine learning models and their diagnostic value*. O. Colliot (Ed.), *Machine Learning for Brain Disorders*, Springer, 2022.
- [15] D. M. Blei, A. Y. Ng, and M. I. Jordan, "Latent Dirichlet Allocation," *J. Mach. Learn. Res.* 3, pp. 933–1022, 2003, doi: 10.1016/B978-0-12-411519-4.00006-9.
- [16] A. R. Pasquali, "Automatic Coherence Evaluation Applied to Topic Models," p. 82, 2016.

This page is intentionally left blank.

Implementasi Algoritma Simulated Annealing (SA) dalam Steganografi Discrete Cosine Transform (DCT)

I Nyoman Dwi Pradnyana Putra^{a1}, I Gede Santi Astawa^{a2},
I Ketut Gede Suhartana^{a3}, Gst. Ayu Vida Matrika Giri^{a4}

^aProgram Studi Informatika, Universitas Udayana
Badung, Bali, Indonesia
¹dwipradnyana68@gmail.com
²santi.astawa@unud.ac.id
³ikg.suhartana@unud.ac.id
⁴vida@unud.ac.id

Abstract

Maintaining confidential data security is very important in an era of rapid technological developments. One method used for this purpose is steganography, which is a technique that allows the hiding of sensitive messages in other media without the knowledge of unauthorized parties. In this context, the Discrete Cosine Transform (DCT) method is used to insert messages into the essential frequency components of the media, such as images. However, the use of DCT can damage image quality, and this is why optimization is necessary. In this research, the Simulated Annealing (SA) algorithm is applied as optimization in DCT steganography. The goal is to find the optimal parameter configuration that can maintain the quality of the steganography image while storing the message efficiently. This research uses 6 RGB and grayscale images each and 3 messages with different capacities. Evaluation is carried out by measuring the Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) and Computational Cost values. This test obtained good results seen from the PSNR value with the highest value of 57,885 dB for RGB images and 58,402 dB for grayscale images, however testing the insertion process time had an influence on the SA algorithm which required quite a long computing time with 16 seconds for the insertion process. It is hoped that the results of this research will provide additional insight into the development of better and more effective information hiding techniques.

Keywords: *Steganography, Discrete Cosine Transform, Simulated Annealing, Digital Image, Peak Signal-to-Noise Ratio*

1. Pendahuluan

Teknologi yang terus berkembang saat ini memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap berbagai aspek kehidupan manusia, salah satunya yaitu menjaga keamanan data yang bersifat rahasia. Salah satu teknik yang digunakan untuk menyembunyikan informasi yaitu steganografi. Proses penyembunyian pesan rahasia menggunakan sistem steganografi dapat dilakukan dengan menggunakan media gambar, audio, maupun video [1]. Pada implementasinya, steganografi memiliki banyak metode untuk menyembunyikan pesan rahasia, salah satunya yaitu metode *Discrete Cosine Transform* (DCT), metode ini mengubah sebuah sinyal ke dalam komponen frekuensi dasar [2]. Namun, semakin banyak karakter yang disisipkan pada gambar akan semakin turun nilai PSNR yang didapatkan atau kualitas gambarnya semakin menurun, maka dari itu algoritma optimasi juga perlu diimplementasikan untuk mempertahankan kualitas citra stego yang dihasilkan, salah satu algoritma optimasi yang dapat digunakan yaitu algoritma *Simulated Annealing* (SA), algoritma ini digunakan untuk menyelesaikan masalah yang dimana memerlukan ruang yang sangat luas serta perubahan keadaan dari suatu kondisi ke kondisi yang lainnya [3].

Penelitian mengenai steganografi menggunakan metode *Discrete Cosine Transform* pernah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya seperti [4] melakukan steganografi dengan menyisipkan citra (informasi rahasia) ke dalam sebuah citra menggunakan metode DCT yang menyimpulkan bahwa resolusi gambar akan mempengaruhi penyisipan, waktu pengiriman, dan waktu ekstraksi. Nilai rata-rata PSNR 43,778 dB dan MSE 2,733. Waktu pengiriman paling lama

terjadi pada pengiriman citra 48x48 piksel sebesar 13,668 detik. Penelitian ini mengimplementasikan metode *Discrete Cosine Transform* (DCT) dengan tambahan algoritma *Simulated Annealing* (SA) untuk meningkatkan keamanan dan kualitas citra steganografi. Data password dienkripsi terlebih dahulu untuk menambah lapisan keamanan. Setelah penyisipan pesan tersembunyi menggunakan DCT, optimasi dilakukan dengan algoritma SA untuk mencari konfigurasi optimal dari parameter penyisipan, memastikan data sensitif tetap terlindungi dari pihak yang tidak berwenang.

2. Metodologi Penelitian

2.1. Data dan Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini yaitu data citra dan teks dengan metode pengumpulan data sekunder, data citra dengan format *.jpeg digunakan sebagai penampung pesan rahasia, sedangkan data teks dengan format *.txt digunakan sebagai pesan yang akan disisipkan ke dalam citra. Terdapat 6 citra digital digunakan yang memiliki ukuran dan jenis yang berbeda (RGB dan *grayscale*). Citra sebagai *cover-image* diambil dari situs web [pinterest.com](https://www.pinterest.com) dengan kata kunci "*digital art*". File teks sebagai pesan yang digunakan memiliki jumlah karakter yang berbeda, dengan penambahan 100 karakter pada setiap file teks berikutnya. Data teks yang digunakan yaitu berupa nilai hash SHA-512 dari sebuah *master password* dari *password manager*. Daftar spesifikasi citra dan pesan dapat dilihat pada Tabel 1 sampai dengan Tabel 3.

Tabel 1. Data Citra RGB

| Nama File | Ukuran |
|-----------|--------|
| rgb1.jpeg | 74 KB |
| rgb2.jpeg | 126 KB |
| rgb3.jpeg | 151 KB |
| rgb4.jpeg | 210 KB |
| rgb5.jpeg | 373 KB |
| rgb6.jpeg | 452 KB |

Tabel 2. Data Citra *Grayscale*

| Nama File | Ukuran |
|------------|--------|
| gray1.jpeg | 62 KB |
| gray2.jpeg | 100 KB |
| gray3.jpeg | 129 KB |
| gray4.jpeg | 190 KB |
| gray5.jpeg | 332 KB |
| gray6.jpeg | 385 KB |

Tabel 3. Data Pesan Rahasia

| Nama File | Ukuran |
|--------------|-----------|
| message1.txt | 102 chars |
| message2.txt | 203 chars |
| message3.txt | 302 chars |

2.2. *Discrete Cosine Transform*

Discrete Cosine Transform merupakan salah satu metode steganografi pada citra digital yang menggunakan teknik transform domain, metode ini mentransformasikan sebuah informasi dari domain ruang atau waktu ke dalam domain frekuensi. Metode DCT adalah perubahan basis yang mengambil fungsi yang bernilai riil dan mengubahnya dalam bentuk basis ortonormal cosinus. Metode DCT yang banyak digunakan dalam aplikasi adalah DCT 2D. Persamaan untuk transformasi DCT 2D (citra berukuran $m \times n$) ditunjukkan pada persamaan (1) dan (2)[5]:

$$T(u, v) = \alpha(u)\alpha(v) \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \cos \cos \frac{(2x+1)u\pi}{2N} \cos \cos \frac{(2y+1)v\pi}{2N} \quad (1)$$

dimana $\alpha(u) = \sqrt{\frac{1}{N}}$ untuk $u=0$

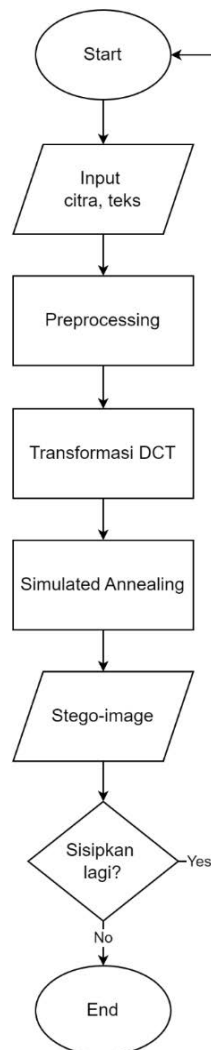
$$\alpha(u) = \sqrt{\frac{2}{N}} \quad \text{untuk } u = 1, 2, 3, \dots, n-1$$

Untuk invers dari transformasi 2D DCT dapat dilihat pada persamaan di bawah ini:

$$f(u, v) = \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} \alpha(u)\alpha(v)T(x, y) \cos \cos \frac{(2x+1)u\pi}{2N} \cos \cos \frac{(2y+1)v\pi}{2N} \quad (2)$$

$$\alpha(u) = \sqrt{2/N} \quad \text{untuk } u = 1, 2, 3, \dots, n-1$$

a. Proses Penyisipan

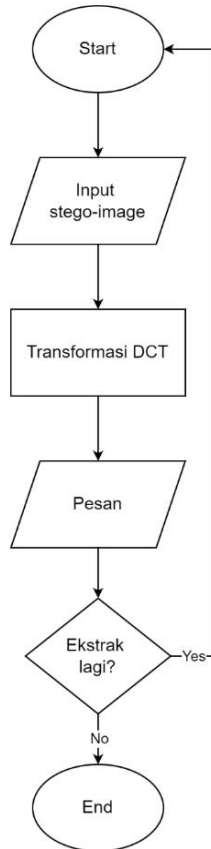


Gambar 1. Flowchart Penyisipan

Penyisipan merupakan salah satu fitur utama dari sistem ini, pertama sistem menerima input berupa masukan citra dan pesan yang ingin disisipkan, kemudian selanjutnya dilakukan *preprocessing* yang dimana proses tersebut dilakukan dengan mengkonversi gambar ke dalam domain DCT, kemudian proses transformasi dilakukan untuk pemilihan blok gambar yang akan digunakan, pembentukan nilai koefisien untuk disisipkan pesan, kemudian algoritma *simulated annealing* untuk melakukan optimasi pemilihan koefisien

yang cocok dan memiliki nilai koefisien secara minimal yang kemudian disisipkan pesan tersebut, proses invers matriks dilakukan untuk mengembalikan blok gambar menjadi *stego-image*. *Flowchart* penyisipan dapat dilihat pada Gambar 1.

b. Proses Ekstraksi



Gambar 2. *Flowchart* Ekstraksi

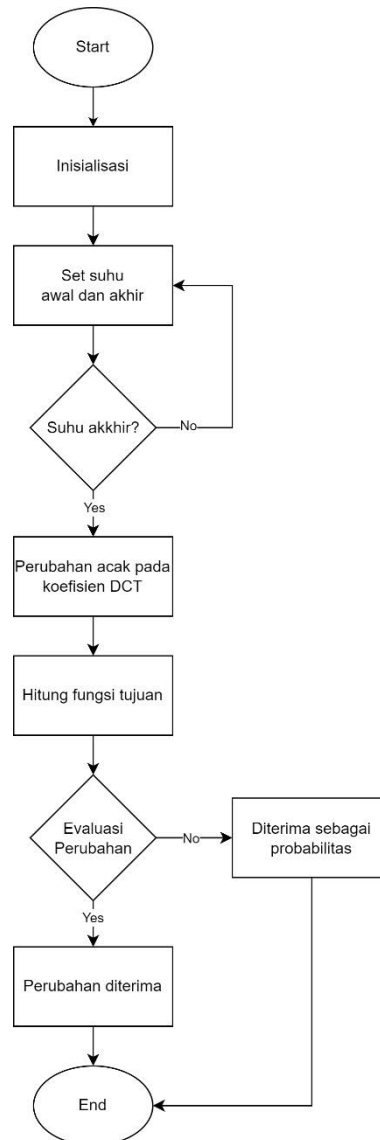
Ekstraksi merupakan salah satu fitur utama dari sistem ini, pertama sistem menerima input berupa masukan citra yang ingin diekstraksi, kemudian selanjutnya dilakukan *preprocessing* yang dimana proses tersebut dilakukan dengan mengkonversi gambar ke dalam domain DCT, kemudian proses transformasi dilakukan untuk pemilihan blok gambar yang akan, kemudian pesan tersebut diekstraksi dari *stego-image*, pesan-pesan tersebut akan disimpan menjadi file baru. *Flowchart* penyisipan dapat dilihat pada Gambar 2.

2.3. Simulated Annealing

Simulated Annealing adalah meta-algoritma probabilistik generik untuk masalah optimasi global. SA telah terbukti kuat dan mampu menangani data dunia nyata yang *noise* dan tidak lengkap. Dimulai dari titik yang dipilih secara acak dalam ruang pencarian. Algoritma dimulai dengan suhu tinggi yang kemudian dikurangi secara perlahan, biasanya secara bertahap. Pada setiap langkah, suhu harus dipertahankan konstan untuk periode waktu yang tepat (yaitu jumlah iterasi) agar algoritma dapat menetap dalam kesetimbangan termal, yaitu keadaan seimbang [6].

Dengan analogi dengan proses metalurgi, setiap langkah dari algoritma SA menggantikan solusi aktual dengan solusi yang dihasilkan secara acak dari lingkungan, dipilih dengan probabilitas tergantung pada perbedaan antara nilai fungsi yang sesuai dan pada parameter global, yang disebut suhu - T. Suhu menurun selama proses. Solusi saat ini berubah hampir secara acak ketika T besar, tetapi semakin menurun ketika T menjadi nol. Penyisihan untuk gerakan menanjak menyelamatkan metode agar tidak macet di minimum lokal. *Simulated Annealing* adalah algoritma stokastik tergantung pada parameter yang dapat dilihat pada persamaan (3):

$$SA = M, x_0, N, f, T_0, T_f, \alpha, n_T \quad (3)$$



Gambar 3. Flowchart Algoritma Simulated Annealing

Simulated annealing merupakan algoritma yang digunakan untuk mengoptimasi penyisipan agar memiliki hasil *stego-image* yang lebih optimal, proses pertama yaitu mengatur suhu awal dan suhu akhir, kemudian melakukan iterasi hingga suhu mencapai suhu akhir dengan melakukan perulangan, jika suhu sudah mencapai akhir maka perubahan acak dilakukan pada koefisien DCT yang dipilih untuk menyembunyikan pesan, kemudian hitung fungsi tujuan untuk mengevaluasi kualitas pesan, pada evaluasi perubahan, jika perubahan meningkatkan kualitas pesan tersembunyi, maka perubahan diterima. Jika tidak, perubahan diterima dengan probabilitas tertentu yang dipengaruhi oleh suhu dan perbedaan nilai fungsi tujuan, langkah yang terakhir yaitu menurunkan suhu dengan faktor pendinginan. *Flowchart* algoritma *simulated annealing* dapat dilihat pada Gambar 3.

2.4. Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)

Penelitian ini menggunakan pengujian dengan parameter *Peak Square Noise Ratio* dan *Mean Square Error*, PSNR dapat didefinisikan sebagai perkiraan kualitas gambar secara statistik digunakan untuk mengukur distorsi antara cover dan *stego-image* dengan membandingkan antara nilai maksimum dari sinyal yang diukur dengan besarnya noise dalam satuan desibel (dB). MSE merupakan adalah kesalahan kuadrat rata-rata sinyal-sinyal *pixel* citra hasil pemrosesan sinyal terhadap sinyal asli [7]. Persamaan yang digunakan untuk menentukan nilai berdasarkan PSNR dapat dilihat pada persamaan (4) dan (5):

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255}{MSE} \quad (4)$$

Dimana nilai MSE didapatkan dengan persamaan berikut:

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} (S(i,j) - C(i,j))^2 \quad (5)$$

Keterangan:

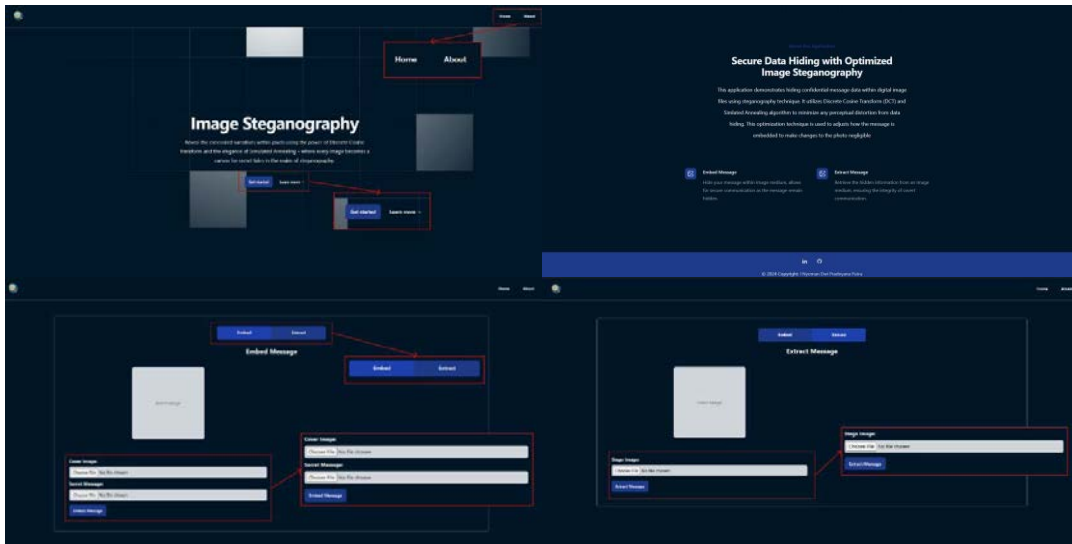
- m : Baris matriks citra hasil pemrosesan
- n : Kolom matrik citra hasil pemrosesan
- S : Pixel citra asli
- C : Pixel citra hasil pemrosesan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan citra setelah disisipkan sebuah pesan dilihat dari jangkauan PSNR berdasarkan pada persamaan (4). Sistem akan menyesuaikan panjang karakter maksimal yang disisipkan dilihat dari nilai PSNR pada gambar yang dipakai. Semakin besar nilai PSNR dan semakin kecil nilai MSE yang didapatkan, maka citra tersebut dapat dikatakan penyisipan dapat dilakukan dengan baik, kualitas citra terbaik berdasarkan nilai MSE ketika mendekati 0, kualitas citra dikatakan baik/sedang apabila memiliki nilai PSNR antara 30 hingga 40 dB, sangat baik > 40 dB, dan kurang baik apabila < 30 dB [8].

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Desain Sistem

Pada tahap ini, tampilan desain sistem yang dirancang sebelumnya berupa wireframe akan diimplementasikan menggunakan HTML, CSS, dan *Tailwind* CSS. Berikut beberapa tampilan halaman pada website steganografi yang telah diimplementasikan.



Gambar 4. Hasil Desain Sistem

Berdasarkan Gambar 4 terdapat 4 buah halaman yang diimplementasikan, halaman pertama yaitu halaman *Home* yang berisi sebuah *navigation bar* yang mengarah ke halaman *home* dan *about*, selain itu halaman ini menampilkan pengenalan aplikasi web serta terdapat tombol “Get Started” yang nantinya akan mengarah ke halaman penyisipan. Halaman kedua yaitu halaman *about* yang memuat informasi mengenai aplikasi web, fitur yang tersedia, serta *footer* yang memuat informasi pengembang aplikasi.

Halaman ketiga yaitu penyisipan, terdapat 2 menu yang berada di tengah halaman yang menunjukkan fitur yang ingin digunakan. Kemudian terdapat *form* untuk memasukkan file citra dan pesan untuk dilakukan penyisipan, serta sistem akan menampilkan gambar yang dimasukkan pada halaman web. Halaman terakhir yaitu halaman ekstraksi, tampilan ini tidak jauh berbeda

dengan halaman penyisipan, perbedaannya terdapat pada form input file yang hanya satu untuk memasukan citra *stego-image*.

3.2. Pengujian PSNR

Pengujian PSNR digunakan untuk mengukur nilai perbedaan citra antara *cover-image* dengan *stego-image*, berikut penggalan kode Python yang digunakan pada pengujian hasil steganografi.

Tabel 4. Hasil Pengujian PSNR Steganografi DCT

| Citra | PSNR (dB) | | |
|------------|--------------|--------------|--------------|
| | message1.txt | message2.txt | message3.txt |
| rgb1.jpeg | 32.697 | 32.625 | 32.540 |
| rgb2.jpeg | 33.963 | 33.931 | 33.904 |
| rgb3.jpeg | 33.985 | 33.962 | 33.940 |
| rgb4.jpeg | 35.340 | 35.216 | 35.165 |
| rgb5.jpeg | 35.882 | 35.854 | 35.823 |
| rgb6.jpeg | 38.586 | 38.565 | 38.552 |
| gray1.jpeg | 33.781 | 33.675 | 33.615 |
| gray2.jpeg | 37.851 | 37.756 | 37.687 |
| gray3.jpeg | 35.180 | 35.156 | 35.128 |
| gray4.jpeg | 35.183 | 35.151 | 35.114 |
| gray5.jpeg | 37.074 | 37.031 | 36.997 |
| gray6.jpeg | 40.970 | 40.948 | 40.932 |

Berdasarkan Tabel 4 menunjukkan bahwa metode steganografi DCT cukup efektif dalam menyisipkan pesan, konsistensi nilai PSNR terhadap 3 pesan yang berbeda menunjukkan bahwa metode yang digunakan stabil dan tidak banyak merusak kualitas gambar. Nilai PSNR tertinggi pada rgb6.jpeg pada pesan 1, dan gray6.jpeg pada pesan 1, hal ini disebabkan oleh ukuran citra yang semakin besar akan memberikan hasil PSNR lebih tinggi tergantung seberapa banyak pesan yang disisipkan.

Tabel 5. Hasil Pengujian PSNR Steganografi DCT dan SA

| Citra | PSNR (dB) | | |
|------------|--------------|--------------|--------------|
| | message1.txt | message2.txt | message3.txt |
| rgb1.jpeg | 44.836 | 41.886 | 40.221 |
| rgb2.jpeg | 46.366 | 44.041 | 42.806 |
| rgb3.jpeg | 50.238 | 46.791 | 45.072 |
| rgb4.jpeg | 50.468 | 47.663 | 46.028 |
| rgb5.jpeg | 52.129 | 49.067 | 47.379 |
| rgb6.jpeg | 57.885 | 55.120 | 53.443 |
| gray1.jpeg | 45.392 | 42.695 | 41.059 |
| gray2.jpeg | 50.262 | 47.818 | 46.094 |
| gray3.jpeg | 51.041 | 47.886 | 46.019 |
| gray4.jpeg | 51.710 | 48.364 | 46.661 |
| gray5.jpeg | 54.026 | 50.866 | 49.330 |
| gray6.jpeg | 58.402 | 56.021 | 54.862 |

Berdasarkan Tabel 5 hasil PSNR setelah proses penyisipan menggunakan algoritma simulated annealing bahwa teknik steganografi ini dapat meminimalkan noise pada *stego-image* yang dimana hasil PSNR menunjukkan di atas 40 dB dengan nilai tertinggi 57.885 dB untuk rgb6.jpeg terhadap message1.txt dan 58.402 dB untuk gray6.jpeg terhadap message1.txt, citra yang akan

disisipkan pesan sangat berpengaruh terhadap jumlah karakter atau ukuran bit pada pesan, dimana semakin besar pesan, maka nilai PSNR semakin sedikit.

Secara umum, citra *grayscale* cenderung memiliki PSNR yang lebih tinggi dibandingkan dengan citra berwarna untuk pesan yang sama. Misalnya, *gray6.jpeg* memiliki PSNR 58.402 dB, lebih tinggi daripada *rgb6.jpeg* yang memiliki PSNR 57.885 dB untuk *message1.txt*. Hal ini disebabkan karena citra *grayscale* lebih sederhana dan memiliki informasi yang lebih sedikit dibandingkan dengan citra berwarna sehingga lebih sedikit gangguan yang terjadi ketika pesan disisipkan.

3.3. Pengujian Waktu Proses

Pengujian waktu proses pada sistem ini digunakan untuk mengukur seberapa cepat metode steganografi dapat melakukan proses penyisipan dan ekstraksi, berikut merupakan potongan kode Python yang digunakan pada pengujian ini.

Tabel 6. Hasil Waktu Proses Penyisipan Steganografi DCT

| Citra | Waktu Proses (s) | | |
|------------|------------------|--------------|--------------|
| | message1.txt | message2.txt | message3.txt |
| rgb1.jpeg | 0.410 | 0.421 | 0.438 |
| rgb2.jpeg | 1.124 | 1.187 | 1.205 |
| rgb3.jpeg | 1.547 | 1.602 | 1.629 |
| rgb4.jpeg | 2.891 | 2.935 | 2.978 |
| rgb5.jpeg | 3.102 | 3.284 | 3.391 |
| rgb6.jpeg | 4.521 | 4.724 | 4.809 |
| gray1.jpeg | 0.407 | 0.416 | 0.462 |
| gray2.jpeg | 0.934 | 0.952 | 0.963 |
| gray3.jpeg | 1.518 | 1.641 | 1.677 |
| gray4.jpeg | 2.837 | 2.910 | 2.989 |
| gray5.jpeg | 3.059 | 3.245 | 3.412 |
| gray6.jpeg | 4.211 | 4.349 | 4.612 |

Berdasarkan Tabel 6 menunjukkan adanya sedikit konsistensi antara waktu proses *message1.txt*, *message2.txt*, dan *message3.txt* menunjukkan bahwa metode steganografi DCT memiliki efisiensi yang serupa terlepas dari pesan yang disisipkan. Hasil waktu proses penyisipan yang dimana proses penyisipan paling lama hingga 4.8 detik yaitu pada citra dengan ukuran terbesar, dan penyisipan paling cepat pada citra dengan ukuran terkecil dengan lama 0.4 detik.

Tabel 7. Hasil Waktu Proses Ekstraksi Steganografi DCT

| Citra | Waktu Proses (s) | | |
|------------|------------------|--------------|--------------|
| | message1.txt | message2.txt | message3.txt |
| rgb1.jpeg | 0.002 | 0.003 | 0.005 |
| rgb2.jpeg | 0.009 | 0.011 | 0.016 |
| rgb3.jpeg | 0.014 | 0.021 | 0.024 |
| rgb4.jpeg | 0.019 | 0.025 | 0.034 |
| rgb5.jpeg | 0.036 | 0.048 | 0.052 |
| rgb6.jpeg | 0.070 | 0.089 | 0.100 |
| gray1.jpeg | 0.001 | 0.002 | 0.004 |
| gray2.jpeg | 0.004 | 0.012 | 0.015 |
| gray3.jpeg | 0.009 | 0.018 | 0.025 |
| gray4.jpeg | 0.016 | 0.020 | 0.027 |
| gray5.jpeg | 0.029 | 0.033 | 0.040 |
| gray6.jpeg | 0.066 | 0.087 | 0.096 |

Tabel 7 menunjukkan waktu proses ekstraksi pesan pada setiap citra hanya menggunakan metode DCT. Waktu proses ekstraksi untuk citra RGB dan *grayscale* memiliki perbedaan yang tidak begitu jauh. Waktu proses ekstraksi ini tergantung pada ukuran dan kompleksitas citra, dengan citra yang lebih kompleks atau berukuran lebih besar cenderung membutuhkan waktu lebih lama. Secara keseluruhan, waktu proses ekstraksi berlangsung sekitar dari 0.001 detik hingga 0.100 detik.

Tabel 8. Hasil Waktu Proses Penyisipan Steganografi DCT dan SA

| Citra | Waktu Proses (s) | | |
|------------|------------------|--------------|--------------|
| | message1.txt | message2.txt | message3.txt |
| rgb1.jpeg | 0.476 | 0.486 | 0.530 |
| rgb2.jpeg | 1.266 | 1.314 | 1.348 |
| rgb3.jpeg | 1.641 | 1.697 | 1.806 |
| rgb4.jpeg | 3.142 | 3.186 | 3.369 |
| rgb5.jpeg | 7.608 | 8.085 | 8.594 |
| rgb6.jpeg | 15.481 | 15.723 | 16.111 |
| gray1.jpeg | 0.401 | 0.612 | 0.890 |
| gray2.jpeg | 0.863 | 0.935 | 0.987 |
| gray3.jpeg | 1.575 | 1.602 | 1.684 |
| gray4.jpeg | 2.911 | 2.970 | 3.213 |
| gray5.jpeg | 7.587 | 7.743 | 8.180 |
| gray6.jpeg | 13.399 | 13.485 | 13.733 |

Tabel 8 menunjukkan hasil waktu proses penyisipan pada setiap citra dan pesan. Citra RGB memerlukan waktu lebih lama daripada *grayscale* untuk proses penyisipannya. Waktu proses penyisipan cenderung meningkat seiring dengan ukuran dan kompleksitas citra. Citra dengan waktu yang lebih besar seperti rgb6.jpeg dan gray6.jpeg memiliki waktu proses yang paling lama, menunjukkan bahwa citra tersebut lebih kompleks atau berukuran lebih besar.

Faktor lain yaitu karena adanya tambahan algoritma SA yang melibatkan analisis dan modifikasi pixel yang lebih kompleks. Proses identifikasi area-area ini memerlukan waktu pemrosesan tambahan yang mengakibatkan lamanya waktu proses penyisipan.

Tabel 9. Hasil Waktu Proses Ekstraksi Steganografi DCT dan SA

| Citra | Waktu Proses (s) | | |
|------------|------------------|--------------|--------------|
| | message1.txt | message2.txt | message3.txt |
| rgb1.jpeg | 0.002 | 0.004 | 0.006 |
| rgb2.jpeg | 0.010 | 0.014 | 0.018 |
| rgb3.jpeg | 0.018 | 0.023 | 0.027 |
| rgb4.jpeg | 0.020 | 0.029 | 0.035 |
| rgb5.jpeg | 0.031 | 0.036 | 0.043 |
| rgb6.jpeg | 0.072 | 0.095 | 0.102 |
| gray1.jpeg | 0.001 | 0.004 | 0.005 |
| gray2.jpeg | 0.006 | 0.014 | 0.017 |
| gray3.jpeg | 0.010 | 0.021 | 0.027 |
| gray4.jpeg | 0.017 | 0.023 | 0.029 |
| gray5.jpeg | 0.038 | 0.052 | 0.054 |
| gray6.jpeg | 0.070 | 0.090 | 0.100 |

Pada Tabel 9 menunjukkan waktu proses ekstraksi pesan pada setiap citra. Waktu proses ekstraksi untuk citra RGB dan *grayscale* bervariasi, tetapi tidak menunjukkan perbedaan pola yang signifikan. Waktu proses ekstraksi ini tergantung pada ukuran dan kompleksitas citra,

dengan citra yang lebih kompleks atau berukuran lebih besar cenderung membutuhkan waktu lebih lama. Secara keseluruhan, waktu proses ekstraksi sekitar dari 0.001 detik hingga 0.102 detik, menunjukkan bahwa proses ekstraksi cukup cepat untuk semua citra dan pesan yang diuji. Grafik untuk pengujian waktu proses ekstraksi dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

3.4. Pengujian *Black-box*

Pengujian *black-box* dilakukan untuk menguji fungsi yang terdapat pada aplikasi yang telah dibangun. Pengujian ini dilakukan dengan cara melakukan demonstrasi menggunakan aplikasi sebagai user untuk mengetahui apakah fungsi yang terdapat pada aplikasi dapat berjalan dengan baik sesuai dengan skenario.

Tabel 10. Hasil Pengujian *Black-box* Proses Penyisipan

| Nama Pengujian | Pengujian Proses Penyisipan | | |
|----------------------------------|--|--|------------|
| Tujuan | Menguji Fungsi Proses Penyisipan | | |
| Skenario | <ol style="list-style-type: none"> 1. Pengguna memilih menu penyisipan 2. Pengguna memasukan citra sebagai <i>cover-image</i> 3. Pengguna memasukan file teks sebagai pesan 4. Pengguna menekan tombol <i>Embed</i> 5. Pengguna men-download <i>stego-image</i> | | |
| Hasil Pengujian | | | |
| Masukan Pengguna | Keluaran yang diharapkan | Pengamatan | Kesimpulan |
| 1. Citra digital 2. File teks | <ol style="list-style-type: none"> 1. Dapat menampilkan citra yang diinput 2. Dapat menghasilkan <i>stego-image</i> 3. Dapat men-download <i>stego-image</i> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Menampilkan citra yang diinput 2. Menghasilkan <i>stego-image</i> 3. <i>Stego-image</i> dapat di-download | Sesuai |

Pada tabel 10 dapat dilihat hasil yang diharapkan atau skenario oleh sistem sudah sesuai dengan hasil pengamatan yang dilakukan terhadap sistem dengan melakukan demonstrasi. Hal ini menunjukkan bahwa proses penyisipan telah berjalan sesuai skenario dan mendapatkan hasil yang diharapkan.

Tabel 11. Hasil Pengujian *Black-box* Proses Ekstraksi

| Nama Pengujian | Pengujian Proses Ekstraksi | | |
|------------------|---|--|------------|
| Tujuan | Menguji Fungsi Proses Ekstraksi | | |
| Skenario | <ol style="list-style-type: none"> 1. Pengguna memilih menu ekstraksi 2. Pengguna memasukan citra sebagai <i>stego-image</i> 3. Pengguna menekan tombol <i>Extract</i> 4. Pengguna men-download teks yang telah diekstraksi | | |
| Hasil Pengujian | | | |
| Masukan Pengguna | Keluaran yang diharapkan | Pengamatan | Kesimpulan |
| 1. Citra digital | <ol style="list-style-type: none"> 1. Dapat menampilkan citra yang diinput 2. Dapat menampilkan pesan yang diekstraksi | <ol style="list-style-type: none"> 1. Menampilkan citra yang diinput 2. Menampilkan pesan yang diekstraksi | Sesuai |

| | |
|--|--|
| 3. Dapat men-download pesan yang diekstraksi | 3. Teks yang telah diekstraksi dapat di-download |
|--|--|

Pada tabel 11 dapat dilihat hasil yang diharapkan atau skenario oleh sistem sudah sesuai dengan hasil pengamatan yang dilakukan terhadap sistem dengan melakukan demonstrasi. Hal ini menunjukkan bahwa proses ekstraksi telah berjalan sesuai skenario dan mendapatkan hasil yang diharapkan.

4. Simpulan

Berdasarkan dari penelitian yang telah dilakukan pada implementasi algoritma *simulated annealing* dalam steganografi *discrete cosine transform* dapat disimpulkan bahwa:

- Penerapan algoritma *simulated annealing* dalam steganografi metode *discrete cosine transform* (DCT) menunjukkan peningkatan yang signifikan pada nilai *peak signal-to-noise ratio* (PSNR) dibandingkan hanya menggunakan metode DCT. Berdasarkan pengujian, rata-rata nilai PSNR yang dihasilkan yaitu 48 dB dengan nilai tertinggi 57 dB pada citra RGB dan 58 dB pada citra *grayscale* serta nilai terendah 40 dB pada citra RGB dan 41 dB citra *grayscale*. Hal ini menunjukkan bahwa algoritma *simulated annealing* efektif dalam meminimalkan distorsi visual atau noise yang diakibatkan oleh proses penyisipan pesan pada gambar sehingga kualitas *stego-image* lebih tinggi dibandingkan dengan metode tanpa optimasi.
- Penggunaan algoritma *simulated annealing* dalam steganografi DCT memberikan dampak pada meningkatnya *computational cost* terkhusus pada waktu proses penyisipan. Berdasarkan pengujian, waktu proses yang dihasilkan pada proses penyisipan dengan waktu terlama yaitu 15 detik pada citra RGB dan 13 detik pada citra *grayscale* serta waktu tercepat 0.41 detik pada citra RGB dan 0.40 detik pada citra *grayscale*. Proses yang dilakukan oleh algoritma ini membutuhkan waktu dan sumber daya komputasi yang lebih besar. Namun, penggunaan algoritma ini sebanding dengan peningkatan kualitas gambar yang dihasilkan.

Referensi

- [1] S. Nur'aini, "Steganografi Pada Digital Image Menggunakan Metode Least Significant Bit Insertion," *Walisono Journal of Information Technology*, vol. 1, no. 1, p. 73, 2019
- [2] T Yuniati, "IMPLEMENTASI AUDIO STEGANOGRAFI MENGGUNAKAN ALGORITMA DISCRETE COSINE TRANSFORM Tugas Akhir," *ejurnal.teknokrat.ac.id*, vol. 17, no. 1, 2023.
- [3] R. Hidayati, I. Guntero, and S. Junianti, "PENGUNAAN METODE SIMULATED ANNEALING UNTUK PENYELESAIAN TRAVELLING SALESMAN PROBLEM," 2019.
- [4] M. Hamdani, D. Gloria, and N. Samosir, "IMPLEMENTASI STEGANOGRAFI UNTUK KEAMANAN PENGIRIMAN CITRA DIGITAL MENGGUNAKAN METODA DCT (DISCRETE COSINE TRANSFORM)," 2018.
- [5] U. Ramadass, "FPGA Implementation of 2-D DCT for JPEG Image Compression," 2011, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/228615235>
- [6] G. R. Karimi and A. A. Verki, *Simulated Annealing - Single and Multiple Objective Problems*. Rijeka, Croatia: InTech, 2012.
- [7] M. A. H. M. H. A. M. Hassaballah, *Digital Media Steganography Principles, Algorithms, and Advances*. Elsevier Science, 2020.

- [8] N. Sari and R. Rosnelly, "Sistem Perbaikan Citra Berkas Pelanggan Kredit Sepeda Motor Menggunakan Metode Gaussian Filter Dan Metode High-Pass Filter Motorcycle Credit Customer File Image Improvement System Using Gaussian Filter Method and High-Pass Filter Method," *Januari*, no. 2, p. 143, 2024.

Game Belajar Membaca Kata Bahasa Inggris Dengan Pendekatan Metode MFCC dan KNN

I Wayan Agus Juniarta^{a1}, I Gede Santi Astawa^{a2}, Made Agung Raharja^{a3},
I Gusti Ngurah Anom Cahyadi Putra^{a4}

^aProgram Studi Informatika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Udayana

Jalan Raya Kampus Unud, Badung, 08361, Bali, Indonesia

¹agusjuniarta16@gmail.com@gmail.com

²santi.astawa@cs.unud.ac.id

³made.agung@unud.ac.id

⁴anom.cp@unud.ac.id

Abstract

Learning English, especially in terms of speaking, at the elementary school level in rural areas with minimal technology is a complex challenge. In an era of globalization filled with technological advances, it is important for students to learn English from an early age. Internet and smartphone technologies, which are becoming increasingly prevalent in children's lives, can be used as innovative tools for learning English. A multimedia-based active and interactive learning approach can enhance the effectiveness of learning in this context. This research aims to develop innovative learning methods by focusing on creating internet and smartphone-based games to facilitate English speaking skills. These games use voice features extracted with the Mel Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) method, which effectively recognizes differences in language and accent in speech recognition. The classification method employed is K-Nearest Neighbors (K-NN), chosen for its simplicity in implementation and suitability for datasets with many features. By integrating these technologies, the proposed approach can provide immediate feedback and engage students more effectively, making the learning process enjoyable and accessible, especially for those in rural areas. This innovation represents a significant step towards improving English education in resource-limited settings. .

Keywords: *Speaking, MFCC method (Mel Frequency Cepstral Coefficients), K-NN (K-Nearest Neighbors) classification method, Learning effectiveness, English learning*

1. Pendahuluan

Para siswa yang hidup di zaman globalisasi dimana teknologi sudah berkembang pesat dan semua sistem sudah menggunakan bahasa Inggris, secara tidak langsung pembelajaran bahasa Inggris akan sangat diperlukan untuk diajarkan sejak bangku sekolah dasar. Pembelajaran multimedia di dalam kelas dapat ditingkatkan didasari oleh pendekatan pembelajaran aktif yang dapat memicu dan memperkuat stimulus dan respon anak dalam pembelajaran, pendekatan interaktif dapat merangsang indra pendengaran dan penglihatan guna untuk memperkuat daya ingat anak dalam mempelajari bahasa Inggris [1]. Pembelajaran multimedia di dalam kelas dapat ditingkatkan didasari oleh pendekatan pembelajaran aktif yang dapat memicu dan memperkuat stimulus dan respon anak dalam pembelajaran, pendekatan

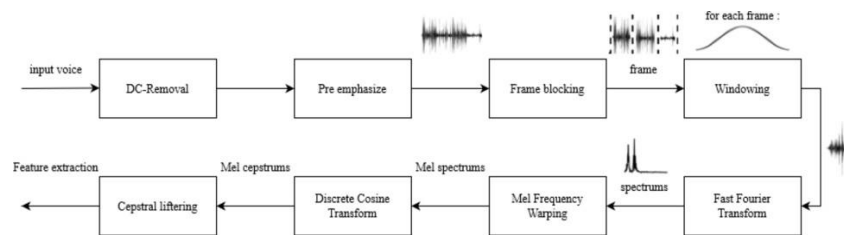
interaktif dapat merangsang indra pendengaran dan penglihatan guna untuk memperkuat daya ingat anak dalam mempelajari bahasa Inggris. Adapun penelitian serupa yang dilakukan oleh (Al Irsyadi, Annas, dan Kurniawan 2019) tentang Game Edukasi Pembelajaran Bahasa Inggris untuk Pengenalan Benda-Benda di Rumah bagi Siswa Kelas 4 Sekolah Dasar di dapatkan bahwa berdasarkan pengujian *User Acceptance Test* dari 5 pertanyaan yang diajukan ke pengguna mendapatkan persentase sebesar 69,19% [5].

Didalam penelitian yang diajukan ini akan difokuskan kedalam pengembangan game pembelajaran speaking dalam bahasa Inggris [5]. Didalam penelitian yang diajukan ini akan difokuskan kedalam pengembangan game pembelajaran speaking dalam bahasa Inggris. Metode yang digunakan untuk mengekstraksi fitur dari suara pengguna game adalah MFCC (Mel-Frequency Cepstral Coefficient) serta metode klasifikasi K-NN digunakan untuk mencari kedekatan antara suara pengguna dengan suara pakar yang sudah disimpan dalam database.

2. Metode Penelitian

2.1 Mel Frequency Cepstral Coefficient

Metode ini biasanya dipilih karena dapat mendefinisikan parameter suara dengan baik dan mampu menangkap karakteristik suara yang penting bagi proses pengenalan suara, dapat menghasilkan data seminimal mungkin tanpa mengurangi informasi-informasi penting yang terkandung dalam sinyal tersebut, dan dapat mereplikasikan organ pendengaran manusia dalam hal mendengar suara. Ada beberapa tahap untuk mendapatkan capstrum mel dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1 Visualisasi Suara Cowok Soal 1 (Indonesia is my country)

2.1.1. DC-Removal

Dc-Removal merupakan persamaan untuk menghitung mean dari data sampel dan mengurangi nilai setiap sampel suara dengan rata-rata tersebut dengan tujuan untuk mendapat normalisasi dari data suara. Persamaan *DC-Removal* dapat dilihat pada persamaan 2.1

$$y[n] = x[n] - \bar{x}, 0 \leq n \leq N - 1 \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana:

$y[n]$ = sampel sinyal hasil proses DC-Removal

$x[n]$ = sampel sinyal asli

\bar{x} = nilai rata-rata sampel sinyal asli

N = panjang sinyal

2.1.2. Pre-Emphasize

Pre-Emphasize Filtering merupakan salah satu jenis filter yang sering digunakan untuk mempertahankan frekuensi-frekuensi tinggi pada sebuah spektrum yang umumnya tereliminasi pada proses selanjutnya. Contoh Pre Emphasis pada gambar 2. Persamaan yang umum digunakan dalam *pre-emphasize* filter dapat dilihat pada persamaan 2.2

$$y[n] = s[n] - \alpha s[n - 1], 0.9 \leq \alpha \leq 1.0 \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

y[n] = sinyal hasil pre-emphasize filter s

[n] = sinyal sebelum pre-emphasize filter

2.1.3. Frame Blocking

Karena signal suara terus mengalami perubahan akibat adanya pergeseran artikulasi dari organ produksi vokal, sinyal harus diproses secara *short segment* Panjang *frame* yang biasanya digunakan untuk pemrosesan sinyal antara 10-30 milidetik[2].

2.1.4. Windowing

Proses *window* berfungsi untuk mengurangi kemungkinan terjadinya kebocoran spektral atau *aliasing*. *Aliasing* adalah signal baru dimana memiliki frekuensi yang berbeda dengan signal aslinya [2]. Representasi fungsi window terhadap signal suara dapat dilihat pada persamaan 2.3

$$x(n) = x_t(n)w(n), n = 0, 1, 2, \dots, N - 1 \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

x(n) = nilai sampel signal dari hasil windowing x_t(n) = nilai sampel dari frame signal ke-i

w(n) = fungsi window

N = frame size, merupakan kelipatan

2.1.5. Fast Fourir Transform

Fast Fourier transform (FFT) adalah salah satu metode pengkonversian dari signal analog ke signal frekuensi [3]. Proses FFT dilakukan pada semua frame dari signal yang sudah melalui tahap windowing. FFT merupakan salah satu algoritma yang cepat untuk menerapkan *Discrete Fourier Transform* (DCT) dimana FFT menghilangkan proses perhitungan kembar dalam DCT FFT dapat dihitung menggunakan persamaan 2.4

$$f(n) = \sum_{k=0}^{N-1} W_k e^{-2\pi jkn/N}, 0 \leq n \leq N - 1 \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

F(n) = Hasil proses FFT

W_k = Windowing

2.1.6. Discrete Cosine Transform

Mel Frequency wrapping umumnya dilakukan menggunakan *filter bank*. *Filter bank* merupakan salah satu bentuk *filter* yang dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui ukuran energi dari *frequency* band tertentu dalam sinyal suara. *Filter bank* dapat dihitung menggunakan persamaan 2.5

$$Y[t] = \sum_{j=1}^N S[j]H_t[j] \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana :

N= Jumlah magnitude spectrum (N E N)

S[j]= magnitude spectrum pada frekuensi j

H_t[j]= koefisien filterbank pada frekuensi (0 < t < M-1)M = jumlah channel dalam filterbank

2.1.7. Cepstral Lifering

Tahap selanjutnya adalah *Discrete Cosine Transform* (DCT), yaitu perubahan konversi dari domain frekuensi ke domain waktu. Namun hasil dari DCT mendekati PCA (*principle component analysis*). PCA merupakan metode *static* klasik yang digunakan secara luas dalam analisa data dan kompresi [2]. DCT dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$C = \sum_{k=1}^K (\log S_k) \cos \left[n \left(k - \frac{1}{2K} \right) \right], \quad n = 1, 2, \dots, K$$

Dimana :

S_k= Keluaran dari proses filterbank pada index

K= jumlah koefisien yang diharapkan

2.1.8. K-Nearest Neighbor

Algoritma *K-Nearest Neighbor* (KNN) merupakan suatu metode yang digunakan dalam proses klasifikasi. Klasifikasi *Nearest Neighbor* didasarkan pada pembelajaran dengan analogi, yaitu mencari kelas terdekat dari objek yang dimiliki dengan dataset yang sudah ada dengan mengukur jarak dari setiap objek dengan dataset sebanyak jumlah dataset yang dimiliki. Untuk mengukur jarak dari dua buah data dapat menggunakan berbagai macam metode seperti metode euclidean distance yang dapat dilihat pada persamaan

$$\text{dist}(X_1, X_2) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{1i} - x_{2i})^2}$$

Dimana

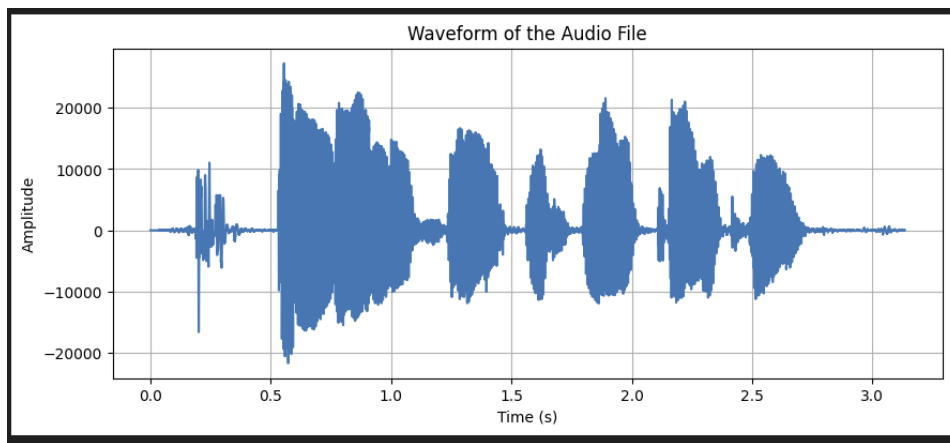
X₁ dan X₂ = Data yang diuji

x_1 dan x_2 = Atribut dari setiap data

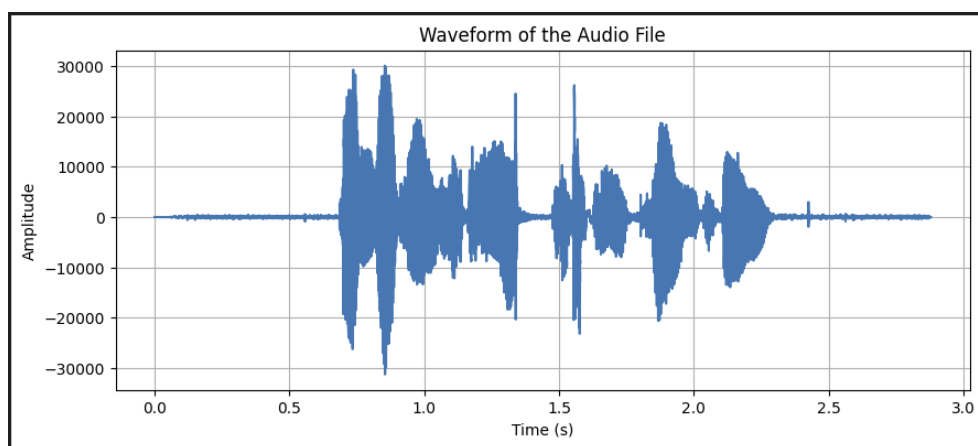
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengolahan Data Awal

Proses pengolahan *dataset* merupakan proses untuk mengolah data sampel yang berupa *file .wav* menjadi sekumpulan fitur yang disimpan menjadi dataset. Pada proses ini terdiri dari tahap *preprocessing*, dan ekstraksi fitur menggunakan metode MFCC. Dataset pelatihan yang sudah dikelompokkan dalam variabel word menjadi enam kelas. Tiap dataset nantinya akan diberi label sesuai dengan angka 1-6. Dan untuk contoh visualisasi dataset seperti pada gambar 2 dan gambar 3.



Gambar 2 Visualisasi Suara Cowok Soal 1 (Indonesia is my country)



Gambar 3 Visualisasi Suara Cewek Soal 1 (Indonesia is my country)

3.2. Preprocessing

Preprocessing merupakan proses pertama yang dilakukan oleh sistem dimana pada tahap ini setiap suara yang ada di folder referensi akan melewati 2 proses yaitu *noise reduction* dan *silence removal*. *Noise reduction* merupakan proses untuk menghilangkan suara derau yang ada pada sinyal suara inputan. Setelah itu masuk ke proses *silence removal* dimana dalam proses ini suara yang merupakan *silence* akan dihilangkan. Sehingga, hasil dari proses ini adalah sinyal suara yang tidak memiliki *noise* dan *silence*.

3.3. Ekstraksi Fitur

Proses ekstraksi fitur merupakan proses untuk mendapatkan fitur-fitur dari sinyal yang telah melalui proses *preprocessing* dengan menggunakan algoritma MFCC. Data hasil *preprocessing* berupa vektor sinyal suara akan menjadi input dari proses ekstraksi fitur ini. Hasil dari proses ekstraksi fitur adalah fitur vektor yang berupa matriks dengan ukuran $nframe \times jkoef$, dimana $nframe$ adalah jumlah frame yang dihasilkan sedangkan $jkoef$ adalah koefisien MFCC yang ditentukan. Hasil dari proses ini akan disimpan di database yang telah ditentukan.

3.4. Klasifikasi Data

Klasifikasi data merupakan tahap pencocokan antara input suara dari pengguna dengan dataset yang ada pada sistem. Pada proses klasifikasi menggunakan algoritma yaitu KNN (*K-Nearest Neighbor*). Adapun proses klasifikasi dengan menggunakan metode KNN dengan perhitungan jarak dengan metode *euclidean distance*.

3.5. Skenario Pengujian

Dalam skenario pengujian dibagi menjadi dua yaitu *functional testing* dan *non functional testing*.

3.5.1. Functional testing

Functional testing merupakan pengujian yang berfokus pada hasil eksekusi dari setiap fitur pada aplikasi yang dibangun. Dalam functional testing akan dilakukan pengujian UAT (User Acceptance Testing). Pengujian UAT adalah pengujian yang ditujukan untuk mengetahui persepsi dari pengguna terhadap aplikasi yang akan dibuat dengan cara memberikan kuisioner yang berisi penilaian perspektif kepada pengguna. Pada penelitian ini pengujian dilakukan terhadap fitur yang ada dalam aplikasi. Bobot dari pertanyaan UAT bisa dilihat pada tabel 1 berikut.

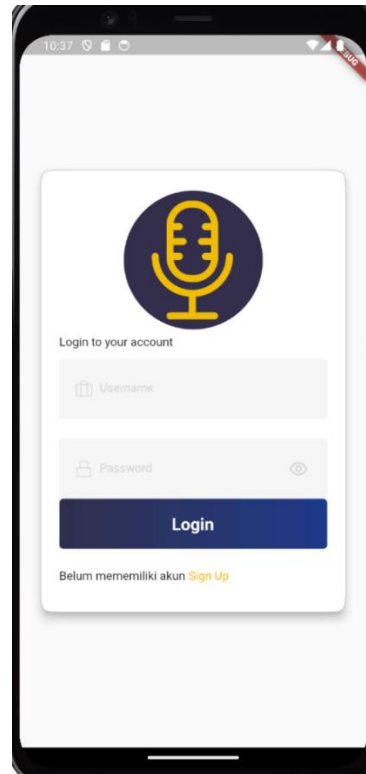
3.5.2. Non-Functional Testing

Non-functional Testing merupakan pengujian terhadap performa dan kegunaan aplikasi yang dibangun. Pada penelitian yang akan dilakukan, *non-functional testing* yang dilakukan adalah menggunakan *confusion matrix*. Pengujian ini digunakan untuk menguji akurasi data yang dihasilkan oleh sistem. *Confusion matrix* merupakan salah satu metode pengujian sistem yang berbentuk tabel. Pengujiannya adalah dengan mengukur kinerja suatu set data. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui akurasi data yang dihasilkan oleh sistem. *Precision* digunakan untuk menghitung efektivitas dari rekomendasi sedangkan relevansinya dihitung dengan *recall*.

4. Kesimpulan

4.1. Implementasi Aplikasi “E-Voice”

Perancangan Aplikasi menggunakan bahasa pemrograman *Dart* dan menggunakan framework *Flutter* sebagai front-end dari Aplikasi yang dibangun dan untuk registrasi user dan logic algoritma menggunakan bahasa pemrograman *Python* untuk tampilan *Home Page* bisa dilihat pada gambar 4.



Gambar 4 Home Page

4.2. Implementasi Ekstraksi Fitur

4.2.1. Implementasi MFCC (Mel Frequency Cepstral Coefficients)

Ekstraksi fitur audio dengan menggunakan metode MFCC dilakukan untuk mendapatkan fitur suara dengan frekuensi rendah. Ekstraksi fitur MFCC dimulai dengan melakukan beberapa preprocessing audio pada gambar 5.

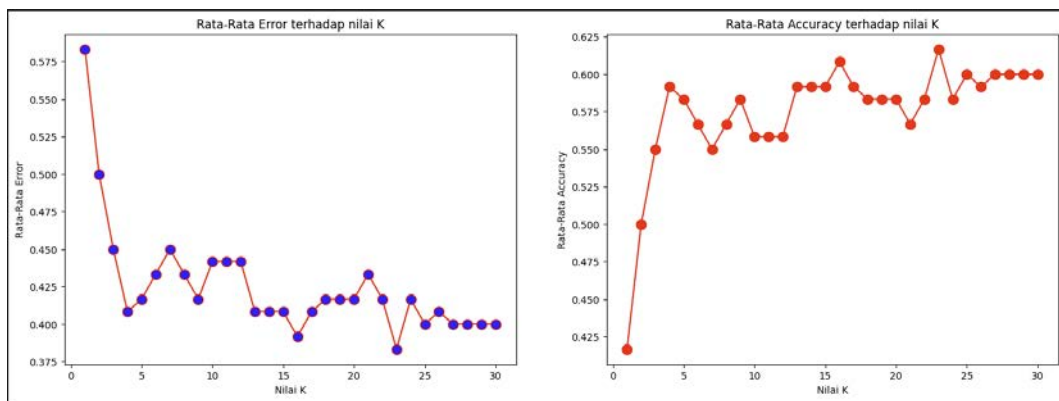
| | prefix_0 | prefix_1 | prefix_2 | prefix_3 | prefix_4 | prefix_5 | prefix_6 | prefix_7 | prefix_8 | prefix_9 | prefix_10 | prefix_11 | word |
|-----|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|------|
| 0 | 10.926098 | 77.255434 | 29.190295 | -2.808359 | -28.318793 | -120.671233 | -139.781283 | -147.947482 | -93.860842 | -107.040543 | -97.056621 | -96.418836 | 1 |
| 1 | 10.926098 | 77.255434 | 29.190295 | -2.808359 | -28.318793 | -120.671233 | -139.781283 | -147.947482 | -93.860842 | -107.040543 | -97.056621 | -96.418836 | 1 |
| 2 | 10.926098 | 77.255434 | 29.190295 | -2.808359 | -28.318793 | -120.671233 | -139.781283 | -147.947482 | -93.860842 | -107.040543 | -97.056621 | -96.418836 | 1 |
| 3 | -77.386866 | 23.865492 | -162.655166 | -172.529460 | -73.967493 | 33.722486 | -188.301666 | -21.403098 | -11.849547 | 16.603345 | -56.774844 | -174.451905 | 1 |
| 4 | -44.366627 | -111.261167 | -26.035281 | -141.130345 | -202.873212 | -38.846477 | -42.438222 | -98.243156 | -70.292935 | 148.700753 | -0.785832 | 32.702702 | 1 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 594 | -109.701990 | 47.294023 | -29.356625 | 14.456736 | -51.483257 | -69.374035 | -205.149561 | 19.333543 | -86.308915 | -115.024882 | -84.077266 | -131.972032 | 6 |
| 595 | -96.657691 | 39.197153 | -118.327525 | -32.774413 | -95.009707 | -146.828364 | -307.829753 | -150.600359 | -133.124126 | -43.860060 | 25.238984 | -154.398437 | 6 |
| 596 | -123.340253 | -6.918728 | -75.609002 | -27.155422 | -2.339270 | -130.187311 | -332.882578 | -103.535060 | 63.198664 | 98.552062 | 130.013041 | 4.818957 | 6 |
| 597 | -99.787915 | -33.851389 | -179.170548 | -6.716594 | -48.168468 | -113.756870 | -330.919031 | -76.775333 | -5.174227 | -31.688621 | 90.013368 | -77.847021 | 6 |
| 598 | -123.424273 | 6.881012 | 67.821285 | -21.364139 | -60.936034 | -39.290792 | -76.624841 | -135.441761 | 50.661665 | -105.639182 | -52.780499 | -128.799425 | 6 |

Gambar 5 Hasil Pengolahan MFCC

Hasil dari ekstraksi fitur mengubah gelombang suara menjadi beberapa tipe parameter seperti cepstral coefficient yang mempresentasikan audio file. Selain itu MFCC menghasilkan fitur vektor yang mengonversi sinyal suara menjadi beberapa vektor untuk pengenalan fitur suara. Nilai fitur ini digunakan menjadi inputan model klasifikasi KNN sehingga setiap audio (kelas) dari soal bahasa inggris dapat di bedakan berdasarkan dari nilai fiturnya. Dan menambahkan kelas word untuk semua dataset secara manual. Gambar dibawah merupakan contoh untuk nilai fitur MFCC

4.2.2. Implementasi Metode Klasifikasi dengan Metode KNN

Pada proses ini akan dibuat sebuah model untuk menyimpan data hasil pelatihan dari klasifikasi dengan metode KNN. Pertama, program akan membaca input dataset pelatihan yang sudah dikelompokkan dalam variabel word menjadi enam kelas. Tiap dataset nantinya akan diberi label sesuai dengan angka 1-6. Dimana nantinya dataset ini akan dibagi menjadi data latih dan data testing dengan perbandingan 80% dan 20%. Selanjutnya, seluruh dataset akan melalui proses ekstraksi fitur dengan metode MFCC. Setelah mendapatkan nilai-nilai fitur dari dataset maka data nilai fitur ini akan disimpan ke dalam file ".csv". File ini nantinya yang akan digunakan dalam proses pembuatan model KNN. Hasil rata-rata dan akurasi dari model yang dibuat bisa dilihat pada gambar 6.



Gambar 6 Akurasi dan Error Pada Model

4.2.3. Akurasi Model Klasifikasi KNN

Dalam pengujian model KNN pada K = 23 mendapatkan akurasi, recall dan presisi pada tabel 1 berikut:

Tabel 1. Pengujian Pada Model

| Akurasi | Presisi | Recall |
|---------|---------|--------|
| 61.66% | 61.34% | 61.92% |

4.3. Pengujian UAT (User Acceptance Testing)

User Acceptance Testing adalah suatu proses pengujian yang dilakukan oleh pengguna dengan hasil output sebuah dokumen hasil uji yang dapat dijadikan bukti bahwa software sudah diterima dan sudah memenuhi kebutuhan yang diminta.[4]. Untuk Mengetahui tanggapan responden (user) terhadap aplikasi, maka dilakukan pengujian dengan memberikan 15 pertanyaan kepada 20 responden dimana jawaban dari pertanyaan tersebut terdiri dari tingkatan yang dapat dipilih pada pada tabel 2 berikut:

Tabel 2. Bobot Jawaban Pengujian UAT

| Jawaban | Bobot |
|---------|-------|
|---------|-------|

| | |
|---|---|
| A. Sangat Baik : Mudah/bagus/sesuai/jelas | 5 |
| B. Baik : Bagus/sesuai/jelas | 4 |
| C. Cukup : Sulit/bagus/sesuai/jelas | 3 |
| D. Kurang : Sulit/jelek/tidak sesuai | 2 |
| E. Sangat Kurang : Sulit/jelek/tidak sesuai/tidak jelas | 1 |

Data yang didapat diatas oleh dengan cara mengalikan setiap poin jawaban dengan bobot yang sudah ditentukan sesuai dengan tabel bobot nilai jawaban. Dan hasil perhitungan dengan menghasilkan setiap jawaban bobot yang sudah ditentukan maka didapat hasil sebagai berikut: Dari hasil pengujian User Acceptance Test maka dapat ditarik kesimpulan pada tabel 3 berikut:

Tabel 3. Hasil Pengujian UAT

| No | (a) | (b) | (c) |
|--------|-----------------------------|----------------------------------|--|
| | Jumlah nilai dari responden | Rata – rata (a/jumlah responden) | Hasil presentase (b/bobot tertinggi*100) |
| 1 | 88 | 4,4 | 88% |
| 2 | 85 | 4,25 | 85% |
| 3 | 85 | 4,25 | 85% |
| 4 | 80 | 4 | 80% |
| 5 | 88 | 4,4 | 88% |
| 6 | 85 | 4,25 | 85% |
| 7 | 89 | 4,45 | 89% |
| 8 | 84 | 4,2 | 84% |
| 9 | 89 | 4,45 | 89% |
| 10 | 89 | 4,45 | 89% |
| 11 | 87 | 4,35 | 87% |
| 12 | 87 | 4,35 | 87% |
| 13 | 88 | 4,4 | 88% |
| 14 | 90 | 4,5 | 90% |
| 15 | 87 | 4,35 | 87% |
| Jumlah | | | 87% |

Dari data diatas dapat disimpulkan bahwa aplikasi mempunyai tampilan yang menarik, menu-menu pada aplikasi android mudah di pahami, aplikasi mudah dan nyaman digunakan, mudah dioperasikan, kemampuan dan fungsi sesuai harapan serta sistem sangat di butuhkan. Berdasarkan hasil yang telah didapatkan dari penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa perancangan aplikasi *E-Voice* yang mengimplementasikan dalam bentuk aplikasi android dan mampu mengimplementasikan algoritma ekstraksi fitur MFCC dan Klasifikasi KNN dalam mengklasifikasikan suara pengguna dengan suara pakar. Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat dilihat bahwa sistem dapat melakukan proses klasifikasi suara dengan cukup baik dimulai dari proses *register* akun pengguna di halaman *register* setelah itu pengguna bisa login menggunakan akun yang sudah didaftarkan di halaman *login* lalu pengguna masuk ke halaman utama yang berupa halaman latihan disana pengguna bisa langsung mencoba

beberapa soal berbahasa Inggris yang disediakan dengan cara merekam suara pengguna di halaman *record* dengan menggunakan *microphone* lalu bisa memutar ulang rekaman yang dibuat sekaligus melihat seberapa akurat suara pengguna dengan suara soal berdasarkan intonasi dari suara rekaman pengguna. Performa dan akurasi dari pengujian yang dilakukan didapat akurasi sebesar 61.66% presisi sebesar 61.34% dan *recall* sebesar 61.92% menggunakan dataset suara peneliti. Testing menggunakan UAT (*User Acceptance Testing*) mendapatkan hasil sekitar 87%.

Referensi

- [1] Al Irsyadi, F. Y., Annas, R., & Kurniawan, Y. I. (2019). Game Edukasi Pembelajaran Bahasa Inggris untuk Pengenalan Benda-Benda di Rumah bagi Siswa Kelas 4 Sekolah Dasar. *Jurnal Teknologi Dan Informasi*, 9(2), 78–92. <https://doi.org/10.34010/jati.v9i2.1844>
- [2] Helmiyah, S., Fadlil, A., Yudhana, A., Dahlan, A., & Studi Teknik Elektro, P. (2018). Pengenalan Pola Emosi Manusia Berdasarkan Ucapan Menggunakan Ekstraksi Fitur Mel-Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) Speech Based Emotion Pattern Recognition Using Mel-Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) Feature Extraction. *Cogito Smart Journal* |, 4(2), 372–381.
- [3] Pujianto, P., Mujito, M., Prabowo, D., & Prasetyo, B. H. (2020). Pemilihan Warga Penerima Bantuan Program Keluarga Harapan (PKH) Menggunakan Metode Simple Additive Weighting (SAW) dan User Acceptance Testing (UAT). *Jurnal Informatika Universitas Pamulang*, 5(3), 379. <https://doi.org/10.32493/informatika.v5i3.6671>
- [4] Putra, D., & Resmawan, A. (2011). Verifikasi Biometrika Suara Menggunakan Metode Mfcc Dan Dtw. *Lontar Komputer : Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi*, 2(1), 8–21.
- [5] Rahayu, S. L., & Fujiati, F. (2018). Penerapan Game Design Document dalam Perancangan Game Edukasi yang Interaktif untuk Menarik Minat Siswa dalam Belajar Bahasa Inggris. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 5(3), 341. <https://doi.org/10.25126/jtiik.201853694>

Penerapan Ontologi dan Algoritma Genetika Dalam Sistem Rekomendasi Buku

Qaris Ardian Pratama¹, I Gede Arta Wibawa², Ida Ayu Gde Suwiprabayanti Putra³,
I Dewa Made Bayu Atmaja Darmawan⁴

^aProgram Studi Informatika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Udayana

Jalan Raya Kampus Unud, Jimbaran, Bali, 80361, Indonesia

¹qarisp@gmail.com

²gede.arta@unud.ac.id

³iagsuwiprabayantiputra@unud.ac.id

⁴dewabayu@unud.ac.id

Abstract

Reading is an activity that is crucial for human cognitive development. However, the challenge is that there are a vast number of books available which makes it difficult for people to choose which book to read. There is also the digitalization of books, which makes it easier for people to access them. The increased accessibility of reading books resulted in an even more book choices. The purpose of this research is to develop a website-based recommendation system that facilitates the book selection process. The combination of ontology and genetic algorithms offers a promising solution. With the help of ontology, users will find it easier to search for the books they want. Using genetic algorithms can also offer books that match the user's preferences through a recommendation feature. The study results indicate that this approach significantly assists in books selection, with 87.5% of the respondents finding the recommendation aligned with their preferences. Consequently, the system reduces users' uncertainty in choosing books, as confirmed by positive feedback from the respondents.

Keywords: *Ontology, Genetic Algorithms, Recommendation System, Book, Semantic Web*

1. Pendahuluan

Membaca buku merupakan salah satu cara terbaik dalam menambah pengetahuan ataupun memperdalam suatu pemahaman. Ada banyak sekali buku yang ada di dunia ini yang dapat pembaca pilih. Hal ini menyebabkan pembaca sering kebingungan untuk memilih buku yang ingin mereka baca. Perkembangan teknologi juga memiliki faktor yang menyebabkan semakin banyaknya buku yang dapat pembaca pilih. Di era digital ini, sudah tersedia buku digital yang dapat dibaca di mana saja dan kapan saja. Dengan begitu, semakin terbuka juga akses untuk membaca buku yang secara fisik sulit untuk didapatkan. Meningkatnya akses dalam membaca buku juga menyebabkan semakin banyak buku yang dapat pembaca pilih, bahkan buku yang secara fisik sulit untuk didapatkan.

Penelitian tentang sistem rekomendasi buku sudah banyak dilakukan, tetapi sebagian besar terintegrasi dalam sistem perpustakaan yang fokus pada akses dan peminjaman buku. Salah satu contohnya adalah penelitian mengenai sistem rekomendasi buku yang menggunakan metode *weighted tree similarity* dan *content based filtering* pada Perpustakaan Daerah Provinsi Kalimantan Selatan [1]. Penelitian seperti ini tidak memecahkan masalah di mana ada banyak sekali buku yang dapat pembaca pilih karena hanya mencakup satu perpustakaan saja. Terdapat juga sistem perpustakaan digital seperti Perpustakaan Nasional dan iPusnas memberikan akses ke buku digital, tetapi pengguna masih perlu mencari buku yang mereka ingin baca secara manual. Bahkan beberapa perpustakaan digital yang memberikan akses kepada buku-buku kepada anggota perpustakaan saja, sehingga pengguna wajib untuk mendaftarkan diri sebagai anggota di perpustakaan terkait terlebih dahulu.

Penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem rekomendasi buku berbasis web semantik dengan menggunakan ontologi dan algoritma genetika. Ontologi akan digunakan untuk memodelkan data buku dan mengidentifikasi konsep serta hubungan antara buku. Ontologi yang merupakan *database* berbentuk *graph* cocok digunakan pada data yang besar [2]. Hal ini dikarenakan proses *querying* dari *database* berbentuk *graph* lebih cepat bila digunakan pada data yang besar [3]. Selanjutnya, algoritma genetika akan membangun model rekomendasi berdasarkan kesesuaian antara buku dan preferensi pengguna. Kombinasi ontologi dan algoritma genetika diharapkan dapat meningkatkan akurasi rekomendasi, membantu pengguna menemukan buku yang relevan, dan memperluas pengalaman membaca mereka.

2. Metode Penelitian

Pada tahap ini dijelaskan rancangan metodologi penelitian yang berisi proses penelitian secara umum, metode penelitian yang digunakan sebagai berikut.

2.1 Sistem Rekomendasi

Tujuan utama dari sistem rekomendasi adalah memberikan saran kepada pengguna untuk membuat keputusan yang lebih baik dari banyak alternatif yang tersedia di web. Sistem rekomendasi yang lebih baik mengarah kepada rekomendasi yang personal dengan mempertimbangkan jejak digital yang tersedia dari pengguna dan informasi tentang produk, seperti spesifikasi, umpan balik dari pengguna, perbandingan dengan produk lain, dan lain sebagainya sebelum memberikan rekomendasi [4].

2.2 Ontologi

Ontologi merupakan artefak representasional yang terdiri dari taksonomi sebagai bagian yang tepat, di mana representasinya dimaksudkan untuk menunjuk beberapa kombinasi universal, kelas yang telah didefinisikan, dan hubungan tertentu di antara mereka [5]. Skema ontologi bertujuan untuk memberikan makna pada sebuah domain berdasarkan struktur hirarkinya. Berbeda dengan skema basis data relasional yang cenderung kaku dan statis, ontologi bersifat lebih fleksibel dan memungkinkan adanya perubahan di kemudian hari meskipun skema tersebut telah memiliki baris data [6].

2.3 SPARQL

SPARQL (*Simple Protocol and RDF Query Language*) adalah sebuah bahasa yang digunakan khusus untuk RDF. SPARQL memberikan beberapa fasilitas yang membedakannya dengan SQL. Sintaks SPARQL memiliki perbedaan dengan sintaks *query* SQL pada umumnya. Perbedaannya adalah sintaks *query* SQL ditujukan pada himpunan baris data yang tersimpan dalam basis data relasional. Sedangkan, pada sintaks SPARQL diambil dari sekumpulan *instances* yang tersimpan pada representasi ontologi [7].

2.4 Algoritma Genetika

Algoritma Genetika adalah pendekatan pencarian heuristik yang dapat diterapkan pada berbagai masalah optimasi. Fleksibilitas ini membuat algoritma genetika menarik untuk banyak masalah optimasi dalam praktik. Evolusi adalah dasar dari Algoritma genetika. Varietas dan keberhasilan saat ini dari spesies adalah alasan yang baik untuk percaya pada kekuatan evolusi. Spesies mampu beradaptasi dengan lingkungannya. Mereka telah berkembang menjadi struktur kompleks yang memungkinkan kelangsungan hidup di berbagai jenis lingkungan. Kawin dan memperoleh keturunan untuk berkembang menjadi prinsip utama kesuksesan evolusi. Ini adalah alasan yang baik untuk mengadaptasi prinsip-prinsip evolusi untuk menyelesaikan masalah optimasi [8].

2.5 Simple Additive Weighting (SAW)

Simple Additive Weighting adalah sebuah metode yang berfokuskan kepada sebuah kasus yang membutuhkan proses perhitungan terbobot. Konseptualisasi dasar pada metode SAW ini adalah menghitung penjumlahan terbobot dari sebuah permasalahan pada setiap alternatif pada

sejumlah kriteria yang digunakan. Metode ini memberikan sebuah solusi untuk menentukan bobot pada setiap kriteria penentuan dalam pengambilan keputusan. Skor hasil akhir untuk sebuah alternatif dihasilkan melalui penjumlahan seluruh hasil perkalian antar rating dan bobot pada setiap atribut. Hasil dari perhitungan tersebut haruslah bebas dimensi di mana telah melewati proses normalisasi [9].

2.6 Data Penelitian

Sumber data untuk penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Data Primer
Data primer menggunakan data yang diambil dari website *goodreads.com* menggunakan metode *web scraping*. Adapun data yang diambil adalah judul, rating, jumlah rating, harga, deskripsi, genre, tahun rilis, jumlah halaman buku, penulis, bahasa, dan genre.
- b. Data Sekunder
Data sekunder sendiri berasal dari sumber literatur sebelumnya yang terkait dengan objek penelitian.

2.7 Teknik Pengumpulan Data

Data diperoleh melalui *scraping* dari website *goodreads.com* yang mana merupakan situs informasi mengenai buku. Data yang diambil dari website *goodreads.com* adalah judul, rating, jumlah rating, harga, deskripsi, genre, tahun rilis, jumlah halaman buku, penulis, bahasa, dan genre.

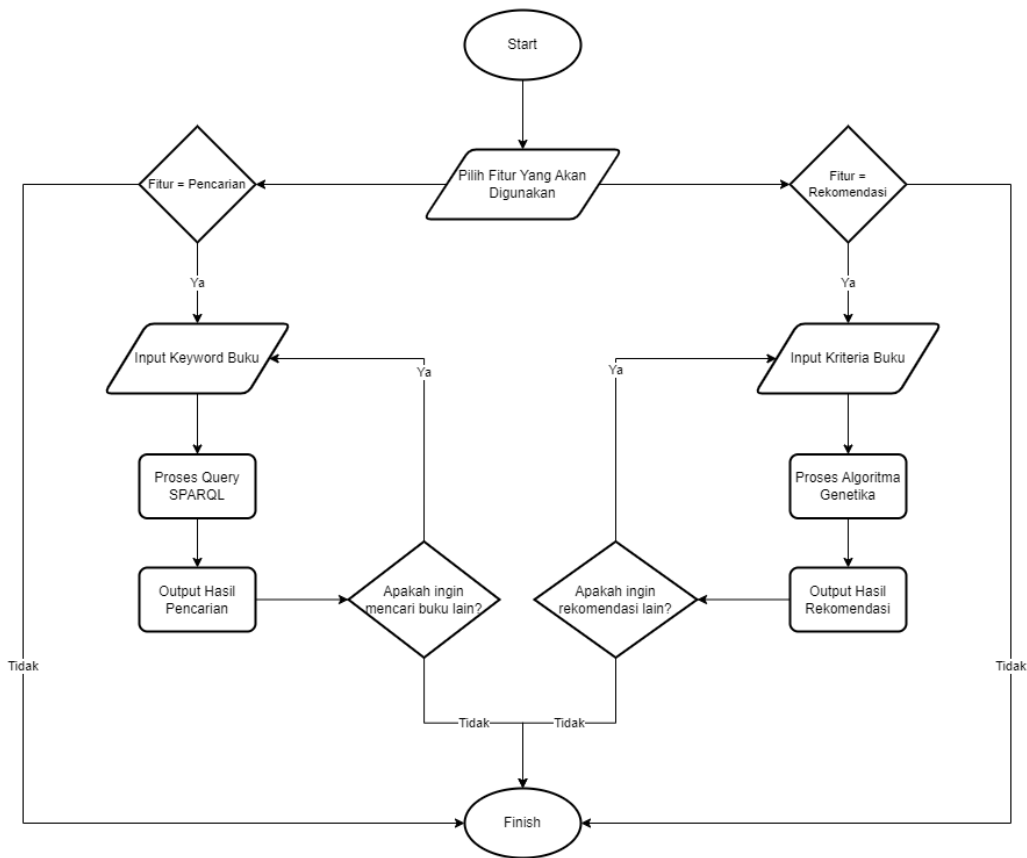
2.8 Teknik Analisis Data

Terdapat langkah-langkah yang harus dilakukan guna mendapatkan hasil rekomendasi buku. Pertama, pengguna harus menentukan preferensi buku yang mereka inginkan. Kemudian, masing-masing kriteria akan diberikan bobot untuk keperluan *Simple Additive Weighting* (SAW). SAW digunakan dalam menentukan nilai *fitness* pada algoritma genetika. Setelah itu, sistem akan meng-*query* buku-buku yang sesuai dengan genre yang di-*input* oleh pengguna. Lalu, buku-buku tersebut akan dibentuk kromosom yang mana pada satu kromosom akan berisi tiga buku. Selanjutnya buku-buku tersebut akan dikawinkan di mana ada dua kromosom yang akan menghasilkan satu kromosom baru dengan buku-buku yang berasal dari kedua kromosom yang dikawinkan. Terakhir, kromosom dengan nilai *fitness* tertinggi yang akan direkomendasikan kepada pengguna. Jadi, pengguna akan mendapatkan tiga rekomendasi buku dari hasil algoritma genetika.

2.9 Perancangan Sistem

Pada tahap ini menampilkan gambaran secara umum terhadap user mengenai sistem yang diciptakan.

2.9.1 Flowchart

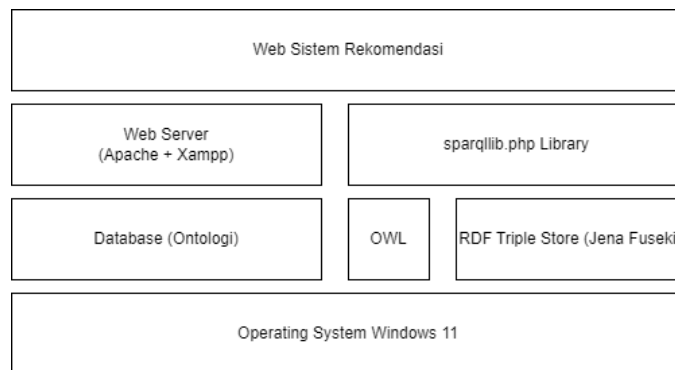


Gambar 1. Flowchart Sistem

Dapat dilihat pada Gambar 1, sistem ini akan memiliki fitur penjelajahan semantik dan pencarian semantik. Ada pun fitur lain yang tersedia pada sistem adalah rekomendasi yang berperan dalam membantu pengguna memilih buku yang sesuai dengan kebutuhan.

2.9.2 Arsitektur Sistem

Dalam pengembangan sistem rekomendasi buku, peneliti memanfaatkan Apache dan XAMPP sebagai server web. Untuk basis data, peneliti menggunakan ontologi dan Apache Jena sebagai penyimpanan *triple* RDF. *Library* yang digunakan untuk menghubungkan PHP dengan *query* SPARQL adalah *sparqlib.php*. Untuk Gambaran dari arsitektur sistem yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah.

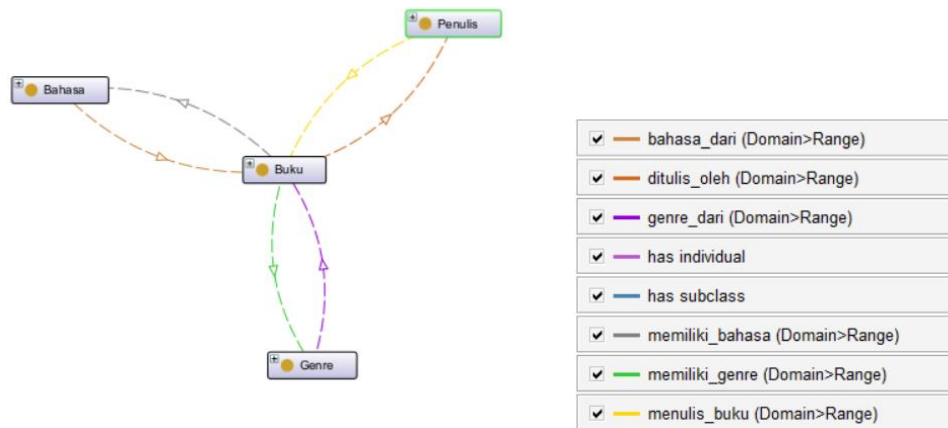


Gambar 2. Arsitektur Sistem

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Model Ontologi

Model ontologi yang digunakan pada penelitian ini memiliki 4 *Class*, yaitu Buku, Bahasa, Genre, dan Penulis. Masing-masing dari *Class* ini memiliki *data properties* masing-masing yang berguna dalam fitur pencarian semantik. Ontologi juga memiliki OntoGraf untuk menggambarkan keterkaitan antar *Class* yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. OntoGraf Ontologi Buku

Pada Gambar 3, juga dapat dilihat terdapat *object properties*, berupa *bahasa_dari*, *ditulis_oleh*, *genre_dari*, *memiliki_bahasa*, *memiliki_genre*, dan *menulis_buku* yang berguna untuk mendeklarasikan keterhubungan antar *Class* tersebut.

3.2 Model Rekomendasi

Dalam membangun model sistem rekomendasi menggunakan algoritma genetika, diperlukan beberapa kriteria yang ditentukan oleh pengguna. Berikut pada Tabel 1 adalah daftar kriteria yang perlu di-*input* oleh pengguna.

Tabel 1. Perhitungan Nilai Bobot Kriteria Ukuran Terhadap Alternatif

| No | Nama Kriteria | Keterangan |
|----|---------------|---|
| 1 | Genre | Kriteria ini berisi genre-genre yang pengguna dapat pilih sesuai dengan preferensi mereka |
| 2 | Bahasa | Kriteria ini berisi bahasa dari buku yang tersedia pada <i>database</i> dan dapat dipilih oleh pengguna sesuai keinginan. |
| 3 | Harga | Kriteria ini berisi rentang minimum harga dan maksimum harga buku yang pengguna inginkan. Kriteria ini juga akan diberikan nilai bobot untuk perhitungan dengan SAW. |
| 4 | Tahun Rilis | Kriteria ini berisi rentang minimum tahun rilis dan maksimum tahun rilis buku yang pengguna inginkan. Kriteria ini juga akan diberikan nilai bobot untuk perhitungan dengan SAW. |
| 5 | Tebal/Tipis | Kriteria ini berisi preferensi pengguna untuk membaca buku yang tebal atau tipis. Hasil masukkan ini nantinya digunakan untuk menentukan peran jumlah halaman sebagai <i>cost</i> atau <i>benefit</i> pada SAW. |

Dari kriteria yang diinput oleh pengguna di atas, sistem akan mengirimkan kriteria pengguna ke *script* Python untuk algoritma genetika. Lalu, *script* python akan meng-*query* buku yang terkait dengan kriteria tersebut. Langkah *query* buku ini menggunakan *library* SPARQLWrapper untuk melakukan request ke server Apache Jena Fuseki. Selanjutnya, buku hasil *query* ini akan dibentuk menjadi kromosom, di mana satu kromosom berisi tiga buku seperti pada Gambar 4. Jumlah kromosom yang dibentuk adalah 25 kromosom.



Gambar 4. Visualisasi Kromosom

Masing-masing kromosom yang sudah dibentuk ini akan dihitung nilai *fitness*-nya. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kualitas dari masing-masing kromosom, semakin tinggi nilai *fitness*, maka semakin sesuai kromosom tersebut dengan kriteria pengguna. Penentuan nilai *fitness* ini didapatkan dari metode SAW, di mana perlu adanya pembobotan untuk menggunakan metode SAW. Untuk bobot yang digunakan pada metode SAW dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Bobot Kepentingan Pada SAW

| No | Kriteria | Bobot |
|----|----------------|-------|
| 1 | Harga | 0.24 |
| 2 | Jumlah Halaman | 0.12 |
| 3 | Rating | 0.32 |
| 4 | Jumlah Rating | 0.32 |

Nilai bobot pada Tabel 2 sudah merupakan hasil normalisasi, di mana total bobot harus sama dengan satu. Untuk mencari nilai *fitness*, perlu untuk menentukan jenis kriteria antara *cost* atau *benefit*. *Cost* merupakan jenis kriteria yang mengutamakan nilai terendah. Sedangkan, *benefit* merupakan jenis kriteria yang mengutamakan nilai tertinggi. Untuk jenis kriteria dari buku pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.

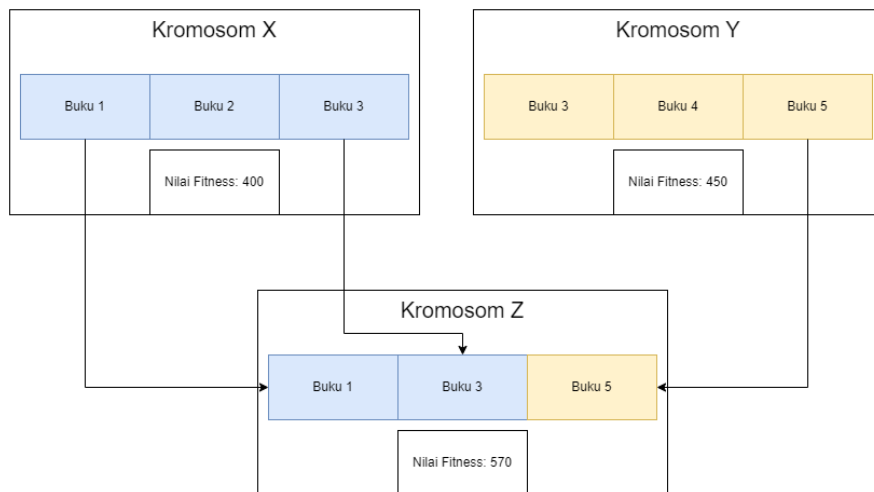
Tabel 3. Perhitungan Nilai Bobot Kriteria Ukuran Terhadap Alternatif

| No | Kriteria | Jenis |
|----|----------------|--------------|
| 1 | Harga | Cost |
| 2 | Jumlah Halaman | Cost/Benefit |
| 3 | Rating | Benefit |
| 4 | Jumlah Rating | Benefit |

Pada Tabel 3, dapat dilihat bahwa sistem akan lebih mengutamakan buku dengan harga terendah. Pada bagian kriteri jumlah halaman, pengguna dapat memilih sesuai dengan keinginan

buku yang tebal atau tipis. Jika pengguna memilih kriteria buku yang tebal, maka kriteria jumlah halaman akan berjenis *benefit*, sehingga sistem akan lebih mengutamakan buku dengan jumlah halaman yang tinggi. Akan tetapi, jika pengguna memilih kriteria buku yang tipis, maka kriteria jumlah halaman akan berjenis *cost*, sehingga sistem akan lebih mengutamakan buku dengan jumlah halaman yang rendah. Untuk kriteria rating dan jumlah rating berjenis *benefit*, sehingga sistem akan lebih mengutamakan buku-buku dengan rating dan jumlah rating yang tinggi.

Nilai *fitness* ini juga digunakan dalam menentukan kromosom yang akan dipilih sebagai *parent*, di mana kromosom yang memiliki nilai *fitness* yang tinggi akan cenderung dipilih sebagai *parent*. Hal ini dilakukan agar kromosom yang dihasilkan dari proses *crossover* memiliki nilai *fitness* yang lebih tinggi dari kedua *parent*. Proses *crossover* dapat dilihat pada Gambar 5.



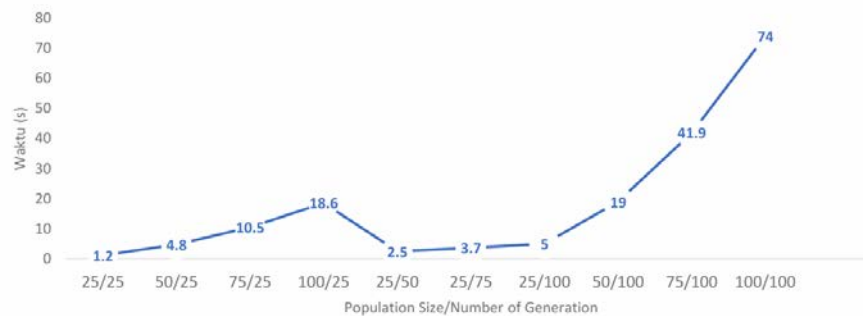
Gambar 5. Visualisasi Proses *Crossover*

Proses ini akan dilakukan berulang kali sampai 50 kali sesuai dengan jumlah generasi yang ditentukan pada penelitian ini. Penentuan jumlah kromosom sebanyak 25 dan jumlah generasi sebanyak 50 berdasarkan pengujian dari rata-rata nilai *fitness*. Untuk pengujian dari kombinasi jumlah populasi dan generasi dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Nilai *Fitness* Kombinasi Jumlah Populasi dan Generasi

Dalam menentukan kombinasi jumlah populasi dan generasi yang optimal, peneliti tidak hanya melihat rata-rata nilai *fitness* saja, tetapi juga melihat waktu komputasi yang masing-masing kombinasi perlukan. Untuk waktu komputasi dari masing-masing kombinasi dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Waktu Komputasi Kombinasi Jumlah Populasi dan Generasi

Kombinasi jumlah populasi dan generasi yang menawarkan rata-rata nilai *fitness* tinggi dengan waktu komputasi yang rendah adalah kombinasi jumlah populasi 25 kromosom dan jumlah generasi 50 kali. Kombinasi tersebut menawarkan rata-rata nilai *fitness* sebesar 1842.9 dengan waktu komputasi hanya 2.5 detik.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan terdapat beberapa kesimpulan diantaranya:

1. Sistem rekomendasi buku menggunakan algoritma genetika berhasil memberikan rekomendasi buku kepada pengguna dengan kriteria genre, bahasa, rentang harga, rentang tahun rilis, dan ketebalan buku.
2. Dalam menentukan nilai *fitness*, algoritma genetika menggunakan *Simple Additive Weighting* (SAW) dengan bobot kriteria yang sudah dinormalisasi. Hal ini dilakukan agar buku yang direkomendasikan kepada pengguna benar-benar memiliki kriteria yang sesuai.
3. Kombinasi jumlah populasi dan generasi pada algoritma genetika yang paling optimal adalah jumlah populasi 25 kromosom dan jumlah generasi 50 kali. Hal ini menawarkan nilai *fitness* sebesar 1842.9 dengan waktu komputasi hanya 2.5 detik.

Referensi

- [1] M. Alkaff, H. Khatimi, & A. Eriadi, "Sistem Rekomendasi Buku pada Perpustakaan Daerah Provinsi Kalimantan Selatan Menggunakan Metode Content-Based Filtering," *MATRIK: Jurnal Manajemen, Teknik Informatika Dan Rekayasa Komputer*, vol. 18, no.1, pp. 193-202. doi: <https://doi.org/10.30812/matrik.v20i1.617>
- [2] R. Angles, & C. Gutierrez, "Survey of Graph Database Models," *ACM Computing Surveys*, vol. 40, no. 1, p 4-15, 2008. doi: <https://doi.org/10.1145/1322432.1322433>
- [3] Y. Zhu, E. Yan, & I. Song, "The Use of a Graph-Based System to Improve Bibliographic Information Retrieval: System Design, Implementation, and Evaluation", *Journal Of The Association For Information Science And Technology*, vol. 68, no. 2, p. 2-10, 2016. doi: <https://doi.org/10.1002/asi.23677>
- [4] S. K. Gorakala & M. Usuelli, "Building a Recommendation System with R," Packt Publishing, 2015.
- [5] R. Arp, B. Smith, & A. D. Spear, "Building Ontologies With Basic Formal Ontology," MIT Press, 2015.
- [6] N. F. Ariyani, I. Fadhila, & A. Munif, "Rekomendasi Rute Kunjungan Tempat Wisata Menggunakan Ontologi dan Algoritma A*," *Briliant: Jurnal Riset Dan Konseptual*, vol. 5, no. 2, pp: 400-417. doi: 10.28926/briliant.v5i2.459
- [7] L. Mutawalli, I. F. Suhriani, & S. Supardianto, "Implementasi Sparql Dengan Framework Jena Fuseki Untuk Melakukan Pencarian Pengetahuan Pada Model Ontologi Jalur Klinis Tata Laksana Perawatan Penyakit Katarak," *Jurnal Informatika Dan Rekayasa Elektronik*, vol. 1, no. 2, p. 68, 2018. doi: 10.36595/jire.v1i2.66
- [8] O. Kramer, "Genetic Algorithm Essentials," Springer International Publishing, 2015.
- [9] A. Mukhlisin, "Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan Smartphone Menggunakan Metode Simple Additive Weighting (SAW) Berbasis Web," *Prosiding Seminar Nasional SISFOTEK*, September, pp. 4-5, 2018. Retrieved from <http://seminar.iaii.or.id>

Pengenalan Pola Motif Kain Songket Lombok Menggunakan Ekstraksi Fitur LBP, GLCM dan Metode K-Nearest Neighbor

Puspadevi Anggotra^{a1}, Agus Muliantara^{a2}, I Dewa Made Bayu Atmaja Darmawan^{a3},
I Gusti Ngurah Anom Cahyadi Putra^{a4}

^aProgram Studi Informatika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Udayana
Bali, Indonesia

¹devianggotraa@gmail.com

²muliantara@unud.ac.id

³dewabayu@unud.ac.id

⁴anom.cp@unud.ac.id

Abstract

Lombok's original songket cloth is an example of regional culture that attracts tourists to Lombok. The motif of Lombok songket cloth is a characteristic that differentiates Lombok songket cloth from other songket cloth. The way the fibers and middle motifs arranged become the characteristic of each motif. The characteristic of Lombok songket cloth distinguishes it from other songket cloth. However, with so many songket cloth motifs, people are often confused when they want to buy the songket cloth they want. Therefore, this research was conducted to introduce the names of Lombok songket cloth motifs to the general public by utilizing machine learning technology to recognize patterns of Lombok songket cloth motifs using Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM), Local Binary Pattern (LBP) and feature extraction. K-Nearest Neighbor (KNN). The research was carried out by comparing the accuracy results using GLCM, LBP and combined GLCM+LBP feature extraction. The Lombok songket cloth image data used in this research consists of 6 Lombok songket motifs with a total of 120 images used. The best accuracy obtained when combining GLCM and LBP features is 83.33%. Obtained using the GLCM dissimilarity, correlation, homogeneity and contrast features, all GLCM tilt angles (00, 450, 900, 1350) at k=1.

Keywords: Pattern Recognition, Songket Lombok Cloth, GLCM, LBP, KNN

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara yang memiliki bermacam warisan budaya yang sangat variatif. Mulai dari keragaman bahasa, tarian hingga kain tenun khas di berbagai daerah. Salah satu jenis kain tenunan tradisional yaitu songket. Kain songket merupakan kain yang masih banyak digunakan hingga saat ini. Songket biasanya dikenakan pada acara-acara resmi dan ditunen dengan benang emas dan perak [1].

Lombok merupakan salah satu tempat yang memiliki ciri khas tekstil songket. Kain songket asli Lombok merupakan salah satu contoh budaya khas daerah yang menjadi daya tarik wisatawan ke Lombok. Desa Sukarare, Kecamatan Jonggat, Kabupaten Lombok Tengah, Nusa Tenggara Barat biasa disebut sebagai rumah bagi sentra kerajinan songket terkenal di Lombok. Motif pada Songket Lombok beragam, eksklusif, dan elok. Cara penyusunan serat dan kembang tengah yang menjadi ciri khas masing-masing motif. Motif inilah yang membedakan kain songket Lombok dengan kain songket lainnya [2].

Dalam penelitian ini, metode yang digunakan oleh penulis adalah metode K-Nearest Neighbor dengan ekstraksi fitur Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM) dan Local Binary Pattern (LBP). K-Nearest Neighbor (KNN) merupakan metode klasifikasi yang mengkategorikan objek baru atau data uji berdasarkan dari data latih yang terletak dekat dengan objek baru tersebut. Gray Level

Co-occurrence Matrix (GLCM) merupakan salah satu teknik untuk mengekstraksi fitur tekstur orde kedua dengan memperhitungkan pasangan dari dua piksel gambar asli [3]. Local Binary Pattern (LBP) mendefinisikan tekstur secara lokal dan merupakan metode yang gray-scale invariant [4].

Pada penelitian sebelumnya dengan berjudul "Evaluasi Ekstraksi Fitur GLCM dan LBP Menggunakan Multikernel SVM untuk Klasifikasi Batik" didapatkan tingkat akurasi paling tinggi yaitu sebesar 100% pada kernel polynomial, linear, dan gaussian dengan masing-masing jarak 1, 3, dan dengan sudut 0^0 pada GLCM. Hasil terendah dari penggabungan algoritma SVM, GLCM dan LBP yaitu pada jarak 3 dengan akurasi 75% [5].

Berdasarkan pengamatan dari penelitian sebelumnya, peneliti ingin mengembangkan sistem pengenalan pola motif songket Lombok dengan menggunakan metode K-Nearest Neighbor beserta ekstraksi ciri dari Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM) dan Local Binary Pattern (LBP). Akurasi nantinya akan dibandingkan antara ekstraksi fitur GLCM, LBP dan GLCM + LBP. Dengan tambahan modifikasi Ekstraksi Fitur GLCM, LBP dengan KNN, diharapkan sistem yang hendak diimplementasikan tersebut dapat mengenali citra yang dimaksud dan menghasilkan akurasi yang cukup tinggi.

2. Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahap antara lain, pengumpulan data, desain sistem, implementasi sistem dan pengujian. Pengumpulan data berupa citra kain songket Lombok dapat dilakukan secara primer ataupun sekunder. Setelah dataset sudah dikumpulkan, kemudian tahap desain akan dilakukan. Tahap desain sistem ini dilakukan untuk memberikan Gambaran lebih jelas mengenai proses apa yang akan dilakukan secara keseluruhan. Setelahnya, sistem akan diimplementasikan dengan metode ekstraksi fitur dan metode klasifikasi. Terakhir, akan dilakukan pengujian untuk memeriksa sistem secara keseluruhan dan untuk mendapatkan akurasi sistem yang dibangun.

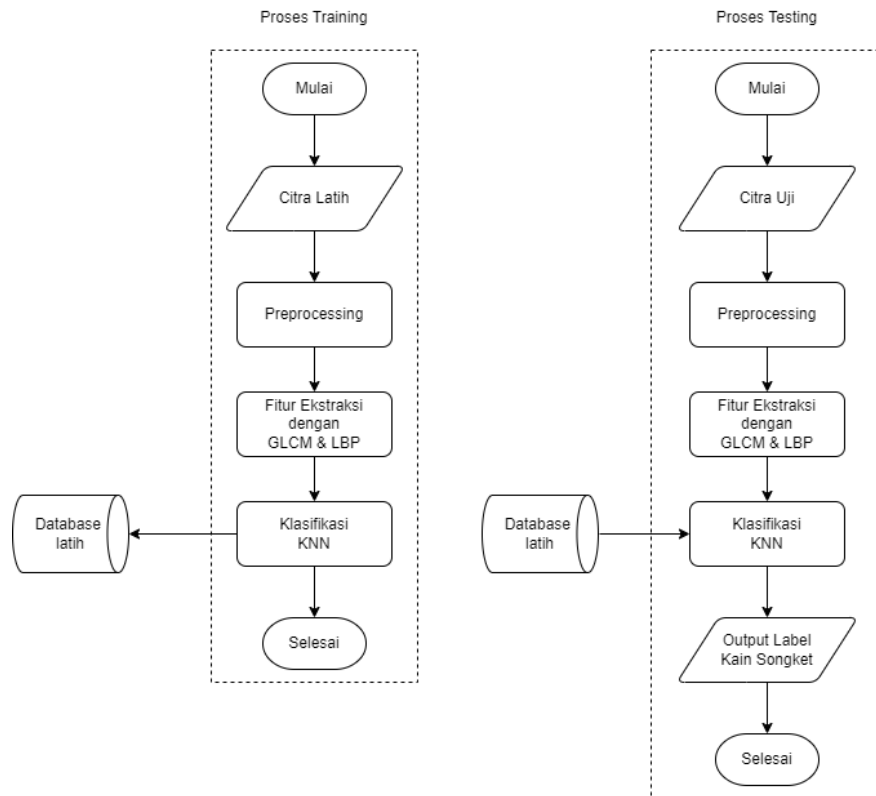
2.1 Pengumpulan Data

Pada penelitian tugas akhir ini, data akan dikumpulkan secara primer dan sekunder. Data sekunder diambil pada sosial media toko Ly Lee Art Shop ([instagram.com/lyleeartshop](https://www.instagram.com/lyleeartshop)) dan sosial media toko Naung Songket ([instagram.com/naung_songket](https://www.instagram.com/naung_songket)). Data primer diambil dengan melakukan observasi ke art shop Patuh dan Dharmasetya yang terletak di Desa Sukarare, Lombok. Pengambilan gambar dilakukan menggunakan kamera smartphone dengan resolusi 48MP dan rasio 1:1.

Terdapat 6 motif kain songket yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu, Motif Bulan Bekurung, Motif Rangrang, Motif Keke, Motif Kembang, Motif Nanas dan Motif Kupu-kupu. Dari yang berhasil dikumpulkan untuk penelitian ini adalah sebanyak 20 data tiap motifnya sehingga didapatkan total 120 data. Data ini kemudian akan dibagi lagi menjadi data training 80% dan data testing 20%.

2.2 Desain Sistem

Dalam pelatihan ini klasifikasi akan dilakukan dengan dua tahap yaitu, *training* dan *testing*. Tahap *training* atau pelatihan untuk melatih sistem. Proses *training* dimulai dengan memasukan *dataset* citra ke dalam sistem. Selanjutnya, citra akan melalui proses *preprocessing*. Hasil dari citra yang telah melalui proses *preprocessing* akan diproses dengan GLCM dan LBP untuk mendapatkan fitur yang akan digunakan pada proses klasifikasi menggunakan KNN. Hasil klasifikasi ini akan dijadikan basis pengetahuan sistem untuk digunakan pada klasifikasi tahap *testing*. Diagram Alir perancangan sistem tahap *training* dapat dilihat pada Gambar 1.



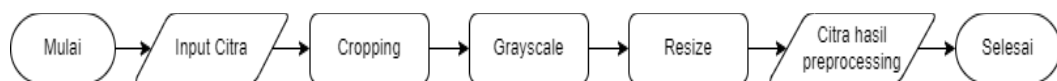
Gambar 1. Diagram Alir Perancangan Sistem

Tahap *testing* tidak jauh berbeda dengan *training*. Mulanya, citra akan dimasukkan ke dalam sistem kemudian mengalami *preprocessing*. Hasil dari citra yang telah melalui proses *preprocessing* akan diproses dengan GLCM dan LBP untuk mendapatkan fitur yang akan digunakan pada proses klasifikasi menggunakan KNN. Hasil dari klasifikasi dengan KNN ini akan menentukan kelas/label dari citra yang diunggah oleh user. Diagram alir perancangan sistem tahap *testing* dapat dilihat pada Gambar 1.

2.3 Implementasi

2.3.1. Preprocessing

Tahap *preprocessing* merupakan tahapan yang dilakukan untuk meningkatkan kualitas citra, melakukan perbaikan citra serta menentukan bagian citra yang akan diproses. Hal ini dilakukan untuk mempermudah proses pengolahan citra pada tahap selanjutnya. Diagram alir tahap *preprocessing* dapat dilihat pada Gambar 2.

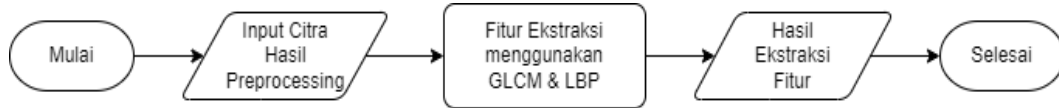


Gambar 2. Diagram Alir Tahap Preprocessing

Input dari tahapan ini berupa citra kain songket. Tahapan *preprocessing* dimulai dari *cropping*, *grayscale* dan *resizing*. Hal ini bertujuan untuk mempercepat proses komputasi. *Output* dari tahap ini adalah citra hasil *preprocessing*.

2.3.2. Ekstraksi Fitur

Pada tahap ini dilakukan ekstraksi fitur pada citra hasil preprocessing dengan menggunakan metode Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM) dan Local Binary Pattern (LBP). Tahap ini dilakukan dengan tujuan untuk mengambil atau mengekstraksi nilai unik dari suatu objek. Nilai unik inilah yang membedakan objek satu dengan objek lainnya. Berikut merupakan diagram alir dari proses ekstraksi fitur. Diagram alir tahap ekstraksi fitur dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir Tahap Ekstraksi Fitur

Masukan dari tahap ekstraksi fitur berupa citra hasil preprocessing. Kemudian, citra hasil preprocessing akan diekstraksi menggunakan metode GLCM, LBP dan GLCM+LBP. Output dari proses ini berupa hasil ekstraksi fitur.

2.3.2.1. Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM)

Sebuah alat statistik yang terkenal untuk mengekstraksi informasi tekstur dari citra adalah Gray Level Co-occurrence Matrix atau bisa disingkat GLCM. Ekstraksi fitur GLCM digunakan dengan cara menghitung nilai probabilitas dari hasil pengukuran hubungan ketetanggaan antara dua piksel pada jarak (d) dan sudut orientasi (θ) tertentu [6]. Jarak antara piksel yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi piksel berkisar dari 1 hingga 10. Sedangkan, orientasi sudut dibentuk dari empat arah sudut yaitu sebesar 0° , 45° , 90° , 135° [7]. Teknik ini bekerja dengan cara membuat matriks hubungan antartetangga (matriks kookurensi) dari citra, kemudian menentukan ciri dari matriks kookurensi tersebut. Nilai GLCM didapatkan dari citra yang sudah dikonversi menjadi citra berskala abu-abu (*grayscale*) [8].

Proses ekstraksi fitur GLCM dimulai dari membuat matriks GLCM terlebih dahulu. Selanjutnya, akan dilakukan normalisasi. Kemudian, nilai fitur ciri dapat dihitung. Fitur ciri yang bisa diekstraksi dari metode GLCM yaitu *dissimilarity*, *correlation*, *homogeneity*, *contrast*, *angular second moment (ASM)* dan *energy* [9]. Berikut merupakan rumus dari fitur ciri yang bisa diekstraksi dari metode GLCM.

a. Dissimilarity

$$Dissimilarity = \sum_i \sum_j p_{(i,j)} \cdot |i - j| \quad (1)$$

b. Correlation

$$Correlation = \sum_i \sum_j \frac{(i-\mu_i)(j-\mu_j)p_{(i,j)}}{\sigma_i \sigma_j} \quad (2)$$

$$\mu_i = \sum_i \sum_j i \cdot p_{(i,j)} \quad (3)$$

$$\mu_j = \sum_i \sum_j j \cdot p_{(i,j)} \quad (4)$$

$$\sigma_i = \sqrt{\sum_i \sum_j (i - \mu_i)^2 \cdot p_{(i,j)}} \quad (5)$$

$$\sigma_j = \sqrt{\sum_i \sum_j (j - \mu_j)^2 \cdot p_{(i,j)}} \quad (6)$$

c. Homogeneity

$$Homogeneity = \sum_i \sum_j \frac{1}{1+(i-j)^2} \cdot p_{(i,j)} \quad (7)$$

d. Contrast

$$Contrast = \sum_i \sum_j (i - j)^2 \cdot p_{(i,j)} \quad (8)$$

e. Angular Second Moment (ASM)

$$ASM = \sum_i \sum_j \{p_{(i,j)}\}^2 \quad (9)$$

f. Energy

$$Energy = \sqrt{\sum_i \sum_j \{p_{(i,j)}\}^2} \quad (10)$$

atau

$$Energy = \sqrt{ASM} \quad (11)$$

2.3.2.2. Local Binary Pattern (LBP)

Salah satu teknik analisis tekstur yang digunakan untuk mengklasifikasikan data dan model klasifikasi dalam supervised dan unsupervised learning adalah Local Binary Pattern (LBP). LBP merupakan deskriptor yang digunakan untuk mengklasifikasikan gambar berdasarkan tekstur gambar. Kinerja metode LBP dilakukan dengan membandingkan nilai grayscale dari piksel yang berdekatan. Fitur histogram di LBP digunakan untuk menganalisis data dari piksel terdekat dan digunakan sebagai statistik [10].

Langkah pertama proses ekstraksi fitur LBP adalah menentukan piksel pusat, sampling point dan radius dari citra yang ingin dihitung nilai LBPnya. Selanjutnya adalah langkah thresholding yang dilakukan dengan membandingkan intensitas piksel tetangga dengan piksel pusat. Berikut merupakan rumus thresholding.

$$s(n) = \begin{cases} 1, & g_n \geq g_c \\ 0, & g_n < g_c \end{cases} \quad (12)$$

Keterangan :

$s(n)$ = Nilai perbandingan intensitas piksel pusat dan piksel tetangga

g_n = Intensitas piksel tetangga ke-n

g_c = Intensitas piksel pusat

Kemudian, angka biner yang didapatkan dari proses thresholding akan diubah menjadi desimal dengan rumus seperti berikut.

$$LBP_{P,R} = \sum_{n=0}^{P-1} s(n)2^n \quad (13)$$

Keterangan:

P = *Sampling point*

R = Nilai radius

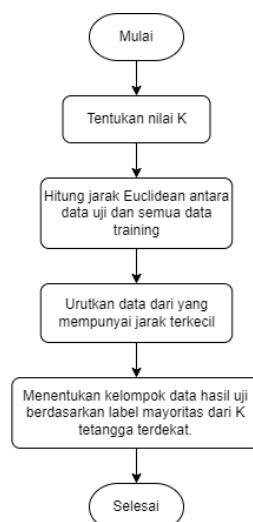
n = Tetangga ke-n

g_c = Intensitas piksel pusat

g_n = Intensitas piksel tetangga ke-n

2.3.3. Klasifikasi Menggunakan K-Nearest Neighbor (KNN)

Metode yang disebut K-Nearest Neighbor (KNN) digunakan untuk mengkategorikan objek menggunakan data pembelajaran yang terletak dekat dengan item tersebut [11]. Pada KNN, algoritma klasifikasi menentukan kelas dari data baru dengan menggunakan sekumpulan K tetangga terdekat atau data sebagai referensi. Algoritma ini mengelompokkan data berdasarkan seberapa mirip atau terdekatnya dengan data lain [12]. Diagram alir dari metode KNN dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Tahap Klasifikasi dengan KNN

Proses klasifikasi dimulai dengan input hasil ekstraksi fitur. Kemudian dilakukan proses klasifikasi dengan menggunakan algoritma K-Nearest Neighbor. Pertama, nilai K harus ditetapkan terlebih dahulu. Kedua, jarak antara data uji dan data pelatihan akan dihitung menggunakan jarak Euclidean. Setelah mendapatkan hasil jarak Euclidean, maka data akan diurutkan dari data yang memiliki jarak terkecil. Langkah terakhir adalah dengan menentukan kelompok data uji berdasarkan label yang paling banyak muncul dari K tetangga terdekat. Output dari proses ini berubah label/kelas/motif kain songket Lombok.

2.4 Pengujian

Pada tahap pengujian, kelas motif songket akan diklasifikasikan, dan kemudian dinilai kebenaran klasifikasinya. Evaluasi terhadap hasil klasifikasi dilakukan dengan menggunakan confusion matrix. Confusion matrix merupakan matriks yang berisikan informasi tentang hasil prediksi klasifikasi yang dilakukan oleh sistem yang dibangun. Evaluasi ini dilakukan dengan menghitung nilai True Positive, True Negative, False Positive dan False Negative [13].

Terdapat beberapa performance metrics yang dapat dihitung menggunakan confusion matrix. Performance metrics yang digunakan dalam penelitian ini antara lain, akurasi, presisi dan recall. Akurasi merupakan rasio prediksi benar baik nilai positif maupun negative yang dibandingkan dengan keseluruhan data. Presisi (precision) merupakan rasio prediksi benar positif dibandingkan dengan keseluruhan hasil yang diprediksi positif yang dihasilkan oleh sistem. Recall merupakan rasio prediksi benar positif dibandingkan dengan keseluruhan data yang benar positif. Pengujian dilakukan pada 6 kelas/label (sesuai jumlah kelompok data) model KNN yang dihasilkan pada tahap pelatihan untuk setiap kasus. Rumus untuk menentukan nilai akurasi, presisi dan recall diberikan di bawah ini [2].

$$Akurasi = \frac{(TP+TN)}{(TP+FN+TN+FP)} \quad (25)$$

$$Presisi = \frac{(TP)}{(TP+FP)} \quad (26)$$

$$Recall = \frac{(TP)}{(TP+FN)} \quad (27)$$

$$F1 - Score = 2 \times \frac{Presisi \times Recall}{Presisi + Recall} \quad (28)$$

Keterangan :

TP adalah True Positive

TN adalah True Negative

FP adalah False Positive

FN adalah False Negative

3. Hasil dan Pembahasan

Terdapat beberapa pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini. Yang pertama adalah pengujian nilai k. Proses pengujian citra kain songket Lombok untuk mengetahui pengaruh nilai k dilakukan dengan menghitung nilai akurasi klasifikasi citra menggunakan data latih dengan membandingkan hasil akurasi dari k = 1 sampai k = 19. Pengujian ini dilakukan menggunakan k-fold cross validation dengan cara membagi data latih menjadi 5 fold sehingga sistem bisa melakukan training dan testing sebanyak 5 kali. Hasil validasi menggunakan 5-fold cross validation dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Validasi Nilai K terhadap Akurasi

| K | GLCM KNN | LBP KNN | GLCM+LBP KNN |
|----|----------|---------|--------------|
| 1 | 50,05% | 56,31% | 60,42% |
| 3 | 45,68% | 50,15% | 56,26% |
| 5 | 47,89% | 49,10% | 56,21% |
| 7 | 49,94% | 43,84% | 53,10% |
| 9 | 45,84% | 46,94% | 56,15% |
| 11 | 46,84% | 45,84% | 55,05% |
| 13 | 44,84% | 44,78% | 54,05% |
| 15 | 44,78% | 44,78% | 53,99% |
| 17 | 43,73% | 46,84% | 53,94% |
| 19 | 42,68% | 42,68% | 50,84% |

Dari pengujian pada Tabel 1, dapat dilihat hasil akurasi pengenalan pola menggunakan ekstraksi fitur GLCM saja mendapatkan nilai sebesar 50,05% untuk k=1. Pengujian menggunakan ekstraksi fitur LBP saja mendapatkan akurasi terbaik 56,31% untuk k=1. Akurasi terbaik didapatkan saat menggabungkan ekstraksi fitur GLCM+LBP yaitu sebesar 60,42% untuk k=1. Nilai k terbaik yang didapatkan kemudian digunakan untuk melakukan klasifikasi dengan data testing dan didapatkan hasil yang dijelaskan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian dengan Ekstraksi Fitur GLCM KNN dan LBP KNN

| | Akurasi | Presisi | Recall | F1-Score |
|--------------------|---------|---------|--------|----------|
| GLCM KNN (k=1) | 54,16% | 50,83% | 54,16% | 51,83% |
| LBP KNN (k=1) | 75,00% | 77,02% | 75,00% | 73,56% |
| GLCM+LBP KNN (k=1) | 79,16% | 81,66% | 79,16% | 79,03% |

Dari pengujian menggunakan 24 data testing yang dapat dilihat pada Tabel 2, didapatkan bahwa nilai gabungan ekstraksi fitur GLCM+LBP dengan klasifikasi KNN mendapatkan hasil nilai rata-rata akurasi yang lebih tinggi yaitu sebesar 79,16% pada k=1. Nilai rata-rata akurasi yang didapatkan dengan menggunakan ekstraksi fitur LBP dan klasifikasi KNN lebih rendah yaitu sebesar 75,00% pada k=1. Hasil nilai rata-rata akurasi yang didapatkan dengan menggunakan ekstraksi fitur GLCM dan klasifikasi KNN hanya mendapatkan akurasi sebesar 54,16%. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa akurasi terbaik yang didapatkan adalah dengan menggunakan ekstraksi fitur GLCM+LBP dan klasifikasi KNN pada k=1.

Pengujian selanjutnya yang dilakukan adalah pengujian pengaruh pemilihan fitur GLCM. Pada pengujian ini dilakukan perbandingan akurasi yang dihasilkan dari hasil klasifikasi citra songket Lombok dengan fitur GLCM. Fitur yang digunakan dalam pengujian adalah Dissimilarity, Correlation, Homogeneity, Contrast, ASM dan Energy. Pengujian ini dilakukan menggunakan parameter k=1. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Pengaruh Seleksi Fitur GLCM terhadap Akurasi (Keterangan Fitur : 1: Dissimilarity, 2: Correlation, 3: Homogeneity, 4: Contrast, 5: ASM, 6: Energy.)

| Fitur yang Digunakan | Akurasi | Presisi | Recall | F1-Score |
|----------------------|---------|---------|--------|----------|
| 1, 2, 3, 4, 5 | 58,33% | 55,55% | 58,33% | 58,33% |
| 1, 2, 3, 4 | 58,33% | 55,55% | 58,33% | 58,33% |
| 2, 3, 4 | 58,33% | 52,77% | 58,33% | 54,99% |
| 2, 4 | 58,33% | 52,77% | 58,33% | 54,99% |
| 2 | 50,00% | 47,22% | 50,00% | 48,33% |

Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa akurasi, presisi dan recall dari GLCM mengalami peningkatan dengan dikurangnya jumlah fitur masukan. Nilai akurasi, presisi dan recall tertinggi didapatkan pada saat fitur ASM dan Energy tidak digunakan dengan besar nilai rata-rata akurasi 58,33%, presisi 55,55%, recall 58,33% dan F1-score 58,33%. Hal ini menunjukkan bahwa fitur *Dissimilarity*,

Correlation, Homogeneity dan *Contrast* merupakan fitur yang paling efektif digunakan dalam klasifikasi kain songket Lombok.

Pengujian selanjutnya merupakan pengujian pengaruh sudut kemiringan GLCM. Pengujian ini dilakukan untuk melihat sudut mana yang memberikan hasil akurasi klasifikasi citra songket Lombok yang lebih baik. Proses pengujian dilakukan dengan cara menambah sudut kemiringan satu persatu hingga mendapatkan sudut kemiringan mana saja yang memberikan hasil akurasi yang baik.

Tabel 4. Hasil Pengujian Pengaruh Sudut GLCM yang Digunakan terhadap Akurasi

| Sudut Kemiringan GLCM | Akurasi | Presisi | Recall | F1-Score |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 0 ⁰ | 50,00% | 51,58% | 50,00% | 36,08% |
| 45 ⁰ | 37,50% | 44,16% | 37,50% | 29,56% |
| 90 ⁰ | 45,83% | 42,77% | 45,83% | 35,33% |
| 135 ⁰ | 41,66% | 48,05% | 41,66% | 28,28% |
| 0 ⁰ , 45 ⁰ | 50,00% | 51,38% | 50,00% | 48,79% |
| 0 ⁰ , 90 ⁰ | 41,66% | 47,26% | 41,66% | 40,04% |
| 0 ⁰ , 135 ⁰ | 50,00% | 45,41% | 50,00% | 45,41% |
| 45 ⁰ , 90 ⁰ | 54,16% | 54,99% | 54,16% | 52,77% |
| 45 ⁰ , 135 ⁰ | 41,66% | 47,26% | 41,66% | 40,04% |
| 90 ⁰ , 135 ⁰ | 50,00% | 53,88% | 50,00% | 47,59% |
| 0 ⁰ , 45 ⁰ , 90 ⁰ | 54,16% | 50,83% | 54,16% | 51,83% |
| 0 ⁰ , 45 ⁰ , 135 ⁰ | 50,00% | 51,30% | 50,00% | 48,44% |
| 0 ⁰ , 90 ⁰ , 135 ⁰ | 54,16% | 50,83% | 54,16% | 51,83% |
| 45 ⁰ , 90 ⁰ , 135 ⁰ | 50,00% | 53,88% | 50,00% | 47,59% |
| 0⁰, 45⁰, 90⁰, 135⁰ | 54,16% | 50,83% | 54,16% | 51,83% |

Dari tabel 4, dapat dilihat nilai akurasi terbaik pada data yang diproses menggunakan seluruh sudut kemiringan(0⁰, 45⁰, 90⁰, 135⁰) dengan nilai rata-rata akurasi sebesar 54,16%, presisi 50,83%, recall 54,16% dan F1-Score 51,83% sehingga dalam membangun sistem pengenalan pola kain songket Lombok ini seluruh sudut kemiringan akan digunakan untuk proses ekstraksi fitur GLCM.

Pengujian terakhir adalah pengujian variasi pencahayaan. Menurut Susanto (2018), Local Binary Pattern (LBP) mendefinisikan tekstur secara lokal dan merupakan metode yang gray-scale invariant, hal ini membuat LBP tidak terpengaruh oleh variasi pencahayaan pada gambar [4]. Oleh karena itu, dilakukan pengujian terhadap pengaruh variasi pencahayaan (brightness) terhadap akurasi klasifikasi kain songket Lombok dengan menggunakan ekstraksi fitur LBP KNN dan GLCM KNN. Variasi Cahaya yang digunakan antara lain, -100, -75, -50, -25, 0, +25, +50, +75 dan +100.

Tabel 4. Hasil Pengujian Pengaruh Sudut GLCM yang Digunakan terhadap Akurasi

| Brightness | Akurasi | | |
|------------|---------------|---------------|---------------|
| | GLCM KNN | LBP KNN | GLCM+LBP KNN |
| +100 | 66,66% | 70,83% | 58,33% |
| +75 | 70,83% | 75,00% | 79,16% |
| +50 | 75,00% | 79,16% | 79,16% |
| +25 | 66,66% | 79,16% | 75,00% |
| 0 | 58,33% | 75,00% | 83,33% |
| -25 | 66,66% | 79,16% | 75,00% |
| -50 | 62,50% | 79,16% | 70,83% |
| -75 | 62,50% | 62,50% | 66,66% |
| -100 | 75,00% | 54,16% | 66,66% |

Hasil pengujian variasi pencahayaan dapat dilihat pada Tabel 4. Dari pengujian ini didapatkan variasi pencahayaan dapat mempengaruhi akurasi untuk kasus pengenalan pola kain songket Lombok ini. Hal ini bisa terjadi karena salah satu kelemahan LBP adalah peka terhadap noise. Berikut merupakan potongan piksel dari citra kain songket yang diuji yang menunjukkan adanya noise dalam citra yang digunakan.



Gambar 5. Potongan Piksel dari Citra Kain Songket yang Diuji

Kemunculan noise ditunjukkan dengan adanya fluktuasi kecil dalam intensitas piksel (piksel yang berwarna hijau). Variasi pencahayaan seharusnya membuat seluruh nilai intensitas piksel akan meningkat atau berkurang sesuai dengan masukan seperti pada Gambar 5. (c). Namun, karena adanya noise pada citra muncullah fluktuasi kecil dalam intensitas piksel yang dapat mengubah pola biner yang dihasilkan oleh LBP.

Untuk ekstraksi fitur GLCM, variasi pencahayaan akan sangat mempengaruhi akurasi karena GLCM menghitung matriks berdasarkan intensitas piksel dan hubungan spasial antara piksel dalam gambar. Hubungan spasial yang dimaksud adalah tentang bagaimana piksel dalam gambar dihubungkan berdasarkan jarak dan arah tertentu untuk membentuk matriks GLCM. Pada saat brightness 0 Gambar 5(a), piksel 151 memiliki hubungan dengan piksel 169 tetapi, saat persentase brightness ditambah +25 pada Gambar 5(b), piksel 151 tidak lagi memiliki hubungan dengan piksel 169 karena intensitas piksel sudah berubah. Perubahan dalam intensitas piksel ini dapat mempengaruhi nilai-nilai dalam matriks GLCM dan fitur tekstur yang dihasilkan.

Dari pengujian menggunakan ekstraksi fitur GLCM saja didapatkan nilai rata-rata akurasi 75,00% pada brightness +50. Pengujian menggunakan ekstraksi fitur LBP saja mendapatkan nilai rata-rata akurasi yaitu 79,16% pada brightness +50. Nilai rata-rata akurasi terbaik didapatkan saat menggunakan ekstraksi fitur GLCM+LBP yaitu sebesar 83,33% pada brightness 0.

Dari seluruh pengujian yang sudah dilakukan, didapatkan nilai rata-rata akurasi terbaik yaitu sebesar 83,33% dengan ekstraksi fitur GLCM+LBP klasifikasi KNN pada k=1, 4 fitur GLCM (Dissimilarity, Correlation, Homogeneity dan Contrast), sudut kemiringan (0⁰, 45⁰, 90⁰, 135⁰) dan brightness 0. Dengan didapatkan akurasi sebesar 83,33%, model machine learning ini dapat dikatakan cukup bagus untuk dikembangkan sebagai Sistem Pengenalan Pola Motif Kain Songket. Oleh karena itu, dapat disimpulkan juga bahwa penggabungan ekstraksi fitur GLCM dan LBP juga meningkatkan akurasi Sistem Pengenalan Pola Kain Songket Lombok.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menghasilkan sebuah sistem pengklasifikasian motif kain songket Lombok berdasarkan citra input yang menggunakan metode K-Nearest Neighbor dengan ekstraksi fitur Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM) dan Local Binary Pattern. Berikut beberapa hal yang bisa disimpulkan dari penelitian ini :

- Pengujian menggunakan ekstraksi fitur GLCM mendapatkan nilai rata-rata akurasi terbaik sebesar 75,00% dengan k=1, 4 fitur GLCM (Dissimilarity, Correlation, Homogeneity dan Contrast), sudut kemiringan (0⁰, 45⁰, 90⁰, 135⁰) dan brightness +50. Pengujian menggunakan ekstraksi fitur GLCM mendapatkan nilai rata-rata akurasi terbaik sebesar 79,16% dengan k=1, 4 fitur GLCM (Dissimilarity, Correlation, Homogeneity dan Contrast), sudut kemiringan (0⁰, 45⁰, 90⁰,

135⁰) dan brightness +50. Dari pengujian pengaruh variasi pencahayaan (brightness) didapatkan bahwa variasi pencahayaan dapat mempengaruhi akurasi untuk kasus pengenalan pola kain songket Lombok ini. Hal ini bisa terjadi karena salah satu kelemahan LBP adalah peka terhadap noise. Untuk ekstraksi fitur GLCM, variasi pencahayaan akan sangat mempengaruhi akurasi karena GLCM menghitung matriks berdasarkan intensitas piksel dan hubungan spasial antara piksel dalam gambar.

b. Penggabungan ekstraksi fitur GLCM dan LBP mampu meningkatkan akurasi sehingga didapatkan nilai rata-rata akurasi sebesar 83,33% sehingga dapat disimpulkan bahwa menggunakan variasi fitur terbaik yaitu k=1, 4 fitur GLCM (dissimilarity, correlation, homogeneity dan contrast), sudut kemiringan GLCM (0⁰, 45⁰, 90⁰, 135⁰) dan menggunakan cahaya alami (brightness 0).

References

- [1] Darussalam and G. Arief, "Faktor-Faktor Pemanfaatan Teknologi Informasi UKM Kain Tenun Songket Palembang," *Resti*, vol. 1, no. 1, pp. 19–25, 2017.
- [2] Nurhalimah, I. G. P. S. Wijaya, and F. Bimantoro, "KLASIFIKASI KAIN SONGKET LOMBOK BERDASARKAN FITUR GLCM DAN MOMENT INVARIANT DENGAN TEKNIK PENGKLASIFIKASIAN LINEAR DISCRIMINANT ANALYSIS (LDA)," *JTIKA (Jurnal Teknol. Informasi, Komput. dan Apl.)*, vol. 2, no. 2, pp. 173–183, 2020.
- [3] Y. D. Pristanti, P. Mudjirahardjo, and A. Basuki, "Identifikasi Tanda Tangan dengan Ekstraksi Ciri GLCM dan LBP," *J. EECCIS*, vol. 13, no. 1, pp. 6–10, 2019.
- [4] A. Susanto, D. Sinaga, C. A. Sari, E. H. Rachmawanto, and D. R. I. M. Setiadi, "A High Performace of Local Binary Pattern on Classify Javanese Character Classification," *Sci. J. Informatics*, vol. 5, no. 1, p. 8, 2018, doi: 10.15294/sji.v5i1.14017.
- [5] P. N. Andono and E. H. Rachmawanto, "Evaluasi Ekstraksi Fitur GLCM dan LBP Menggunakan Multikernel SVM untuk Klasifikasi Batik," *J. RESTI (Rekayasa Sist. dan Teknol. Informasi)*, vol. 1, no. 10, pp. 1–9, 2021.
- [6] R. Asery, R. K. Sunkaria, L. D. Sharma, and A. Kumar, "Fog Detection using GLCM based Features and," vol. 9, no. 11, pp. 72–76, 2016.
- [7] G. Mukherjee, A. Chatterjee, and B. Tudu, "Study on the potential of combined GLCM features towards medicinal plant classification," pp. 98–102, 2016.
- [8] J. Hendryli and D. E. Herwindiati, "KLASIFIKASI KAIN TENUN BERDASARKAN TEKSTUR & WARNA DENGAN METODE K-NN," *J. Comput. Sci. Inf. Syst.*, vol. 2, pp. 85–95, 2019.
- [9] Johan Wahyudi and Ihdahubbi Maulida, "Pengenalan Pola Citra Kain Tradisional Menggunakan Glcm Dan Knn," *J. Teknol. Inf. Univ. Lambung Mangkurat*, vol. 4, no. 2, pp. 43–48, 2019, doi: 10.20527/jtiulm.v4i2.37.
- [10] M. Nasir, N. Suciati, and A. Y. Wijaya, "Kombinasi Fitur Tekstur Local Binary Pattern yang Invariant Terhadap Rotasi dengan Fitur Warna Berbasis Ruang Warna HSV untuk Temu Kembali Citra Kain Tradisional," *Inspir. J. Teknol. Inf. dan Komun.*, vol. 7, no. 1, pp. 42–51, 2017, doi: 10.35585/inspir.v7i1.2435.
- [11] M. A. Hasan and D. Y. Liliana, "Pengenalan Motif Songket Palembang Menggunakan Deteksi Tepi Canny, PCA dan KNN," *Multinetics*, vol. 6, no. 1, pp. 1–7, 2020, doi: 10.32722/multinetics.v6i1.2700.
- [12] D. Kurniadi, A. Sugiyono, and L. A. Wardaya, "Pattern Recognition of Human Face With Photos Using KNN Algorithm," vol. 19, no. 1, pp. 17–25, 2021.
- [13] R. Dijaya and H. Setiawan, *Buku Ajar Pengolahan Citra Digital*. 2023.

Aplikasi Enkripsi Pesan E-Mail Menggunakan Hybrid Cryptosystem AES dan RSA

Gede Krisna Surya Artajaya^{a1}, Agus Muliantara^{a2}, I Gusti Ngurah Anom Cahyadi Putra^{a3},
I Ketut Gede Suhartana^{a4}

^aProgram Studi Informatika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana
Jalan Raya Kampus Unud, Jimbaran, Bali, 80361, Indonesia

¹ krisnasurya09@gmail.com

² muliantara@unud.ac.id

³ anom.cp@unud.ac.id

⁴ ikg.suhartana@unud.ac.id

Abstract

The security of communication via e-mail is increasingly important in today's digital era, where cyber attacks are increasing. These threats require the development of effective solutions to protect the confidentiality and integrity of information in e-mail. This study presents the development of an e-mail messaging application that employs a hybrid cryptosystem combining Advanced Encryption Standard (AES) and Rivest-Shamir-Adleman (RSA) algorithms. The aim is to improve the security of e-mail communications by utilizing the strengths of both symmetric and asymmetric encryption methods. AES is used for its efficiency in encrypting large amounts of data, while RSA ensures secure key exchange. The application tested with blackbox testing to verify its functionality and brute force testing to assess the encryption's robustness. The results show that the application successfully passed the blackbox testing, demonstrating that it functions as intended. The encryption results of the application are also excellent, as evidenced by brute force testing which shows that the encryption cannot be broken. This hybrid approach, by integrating AES and RSA, provides a practical solution for enhancing e-mail security.

Keywords: E-mail Security, Hybrid Cryptosystem, Advanced Encryption Standard (AES), Rivest-Shamir-Adleman (RSA), Cyber Attacks

1. Pendahuluan

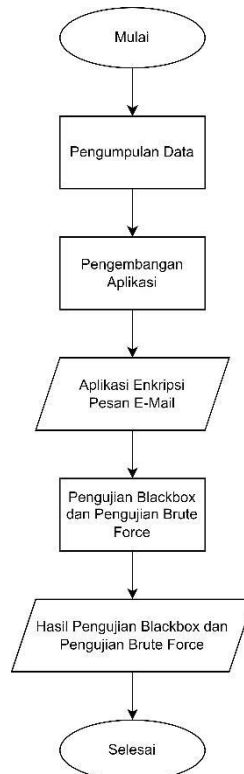
Perkembangan teknologi telah mengubah cara manusia berkomunikasi, dari komunikasi langsung hingga penggunaan media perantara seperti surat. Kemudian, layanan e-mail muncul sebagai solusi modern untuk mengirim pesan dengan cepat dan mudah melalui internet, memungkinkan pertukaran pesan lintas dunia. Namun, e-mail rentan terhadap serangan siber seperti peretasan. Peretasan sendiri merupakan usaha untuk membobol program komputer pihak lain [1] yang memungkinkan pihak tidak sah memperoleh data sensitif atau informasi penting dari pesan e-mail yang dipertukarkan. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan atau teknik tertentu untuk memastikan kerahasiaan pesan tersebut, salah satu caranya adalah dengan menerapkan metode kriptografi.

Kriptografi merupakan seni dan ilmu melindungi pesan sehingga pesan tetap aman [2]. Dalam kriptografi suatu pesan akan dienkrpsi sehingga tidak memiliki arti lagi, sehingga pesan tidak dapat dibaca oleh pihak luar yang tidak memiliki hak [3]. Terdapat berbagai algoritma dalam kriptografi, di mana algoritma tersebut dapat digabungkan untuk memanfaatkan kelebihan dari masing-masing yang disebut dengan hybrid cryptosystem. Secara umum hybrid cryptography diklasifikasikan menjadi dua model; pertama algoritma simetris digunakan untuk mengenkripsi data dan algoritma asimetris digunakan untuk mengenkripsi kunci rahasia; kedua mengenkripsi data dua kali menggunakan enkripsi simetris atau asimetris secara berurutan [4].

Dengan mengaplikasikan hybrid cryptosystem pada aplikasi, data yang dienkrpsi akan lebih aman dari serangan siber. Penelitian sebelumnya [5] telah mengembangkan aplikasi yang dapat mengirim pesan e-mail terenkrpsi menggunakan algoritma Blowfish dan algoritma RSA. Dalam penelitian tersebut dilakukan simulasi serangan brute force untuk mendapatkan kunci privat untuk mendekripsi pesan. Hasil dari simulasi tersebut menunjukkan bahwa algoritma yang digunakan aman dan tingkat keamanan terhadap serangan brute force dipengaruhi oleh panjang karakter kunci. Penelitian lain mengenai hybrid cryptosystem [6] membandingkan performa dan efisiensi kombinasi hybrid

cryptosystem dalam hal waktu enkripsi dan dekripsi, rata-rata throughput, serta efisiensi. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa kombinasi algoritma AES dan RSA merupakan model yang paling cepat dan efisien dibandingkan dengan kombinasi algoritma Blowfish-RSA, algoritma 3DES-RSA, dan algoritma DES-RSA. Dalam penelitian ini, penulis menggabungkan algoritma AES dan algoritma RSA, di mana algoritma AES digunakan untuk mengenkripsi pesan e-mail dan algoritma RSA digunakan untuk mengenkripsi kunci rahasia AES sehingga pesan dapat terenkripsi saat pengiriman dari pengirim ke penerima.

2. Metode Penelitian



Gambar 1. Flowchart Metodologi Penelitian

Dalam penelitian ini penulis mengembangkan program kriptografi untuk mengenkripsi pesan *e-mail* menggunakan algoritma AES dan algoritma RSA. Pada *flowchart* yang dapat dilihat pada Gambar 1, langkah pertama dari penelitian ini adalah mengumpulkan data-data yang berkaitan dengan penelitian, kemudian melakukan pengembangan aplikasi, di mana setelah aplikasi dibuat maka dilakukan pengujian blackbox untuk menguji fungsionalitas dari aplikasi dan pengujian brute force untuk mengetahui ketahanan dari hasil enkripsi.

2.1 Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data berupa teks pesan yang akan dikirim melalui e-mail. Kemudian untuk metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Studi literatur dengan mempelajari textbook, jurnal yang berisikan penelitian terkait enkripsi dan dekripsi menggunakan hybrid cryptosystem, algoritma AES, algoritma RSA, pembuatan aplikasi pengirim pesan, serta literatur lainnya yang mendukung penelitian ini.
- b. Observasi, yakni dengan pengumpulan data dan informasi terkait dengan bagaimana data flow penggunaan *e-mail client*.

2.2 Pengembangan Aplikasi

Pendekatan yang penulis gunakan dalam mengembangkan aplikasi ini adalah pendekatan agile model Extreme Programming (XP), di mana pendekatan agile memungkinkan penulis untuk dengan cepat memperbaiki aplikasi bila terjadi perubahan saat pengembangan aplikasi, sehingga aplikasi yang dibuat benar-benar memenuhi kebutuhan pengguna. Berikut tahapan dari Extreme Programming:

a. *Planning*

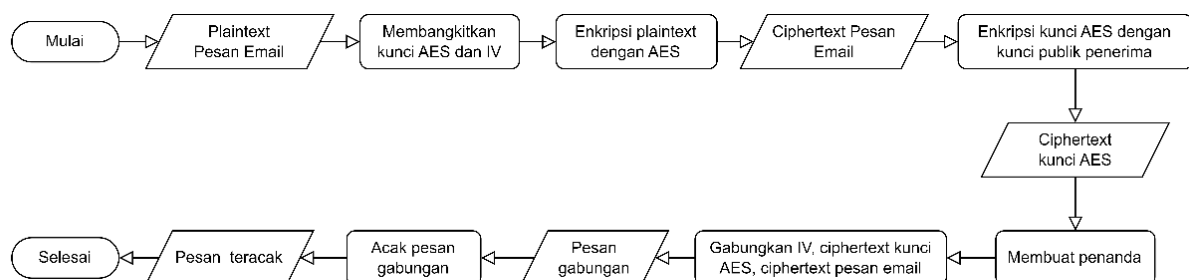
Tahap *planning* merupakan tahap mengidentifikasi masalah yang terjadi kemudian mengumpulkan kebutuhan pengguna dan mendapat gambaran mengenai fitur-fitur aplikasi, analisis kebutuhan sistem, dan keluaran yang diharapkan. Fitur yang akan diterapkan terdiri dari *Login*, *Tulis Pesan*, *E-mail Terkirim*, *E-Mail Masuk*, *Draft*, *Konfigurasi*, *Bantuan*, dan *Logout*. Kemudian analisis kebutuhan sistem terdapat dua kebutuhan yang akan dianalisa yakni kebutuhan fungsional dan kebutuhan non fungsional. Berikut merupakan kebutuhan fungsional dan non fungsional dari aplikasi:

1. Kebutuhan fungsional

- Aplikasi dapat membangkitkan kunci publik dan kunci privat untuk pengguna.
 - Aplikasi dapat membangkitkan kunci rahasia untuk mengenkripsi pesan.
 - Aplikasi dapat mengenkripsi pesan menjadi *ciphertext* menggunakan kunci rahasia dengan algoritma AES.
 - Aplikasi dapat mengenkripsi kunci rahasia menggunakan kunci publik penerima dengan algoritma RSA.
 - Aplikasi dapat mengirim pesan yang sudah terenkripsi dari pengirim ke penerima.
 - Aplikasi dapat menerima dan mengunduh pesan yang sudah dikirim.
 - Aplikasi dapat mendekripsi kunci rahasia menggunakan kunci privat penerima dengan algoritma RSA.
 - Aplikasi dapat mendekripsi *ciphertext* menggunakan kunci rahasia dengan algoritma AES.
 - Aplikasi dapat menampilkan pesan yang telah didekripsi.
2. Kebutuhan non fungsional
- Aplikasi harus *user friendly*.
 - Aplikasi harus dapat terhubung dengan layanan gmail.

b. *Design*

Tahap *design* merupakan tahap untuk perancangan model aplikasi berdasarkan kebutuhan yang telah didapat pada tahap *planning*. Perancangan model ini di antaranya pembuatan *flowchart* dan *mock up* dari desain antarmuka aplikasi. Berikut merupakan *flowchart* enkripsi dan dekripsi dari aplikasi:

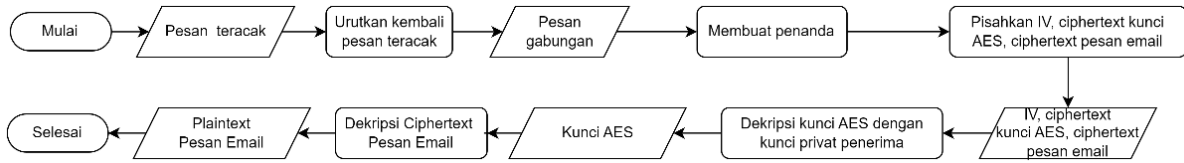


Gambar 2. *Flowchart* Enkripsi

Flowchart pada Gambar 2 merupakan *flowchart* dari proses enkripsi yang akan diimplementasikan pada aplikasi. Penjelasan *flowchart* enkripsi adalah sebagai berikut:

1. Aplikasi akan membangkitkan kunci AES dan IV. Pembangkitan kunci AES dan IV dilakukan menggunakan modul *Random* dari library *Crypto*. IV sendiri merupakan data acak yang diperlukan untuk menginisialisasi proses enkripsi AES.
2. Aplikasi kemudian mengenkripsi *plaintext* menggunakan AES yang menghasilkan *ciphertext*.
3. Kunci AES yang digunakan untuk mengenkripsi pesan *e-mail* akan dienkripsi dengan RSA menggunakan kunci publik penerima dan akan menghasilkan kunci AES terenkripsi.
4. Membuat penanda untuk digabungkan bersama IV, kunci AES terenkripsi, dan *ciphertext*. Penanda dibuat dari operasi perkalian, penjumlahan, serta pengurangan huruf dan angka yang terdapat dalam kunci publik. Penanda dibuat agar aplikasi dapat memisahkan IV, kunci AES terenkripsi, dan *ciphertext* pada proses dekripsi
5. Kemudian IV, kunci AES terenkripsi, *ciphertext*, dan penanda akan digabungkan.
6. Setelah digabungkan, urutan pesan akan diacak. Untuk metode pengacakannya yakni dengan menghitung nilai ASCII tiap karakter dari hasil penggabungan pada langkah lima

untuk digunakan sebagai seed dalam modul Random agar urutan acak konsisten dan urutan dapat dikembalikan.



Gambar 3. Flowchart Dekripsi

Flowchart pada Gambar 3 merupakan flowchart dari proses dekripsi yang akan diimplementasikan pada aplikasi. Penjelasan flowchart dekripsi adalah sebagai berikut:

1. Aplikasi akan mengurutkan kembali urutan pesan yang diacak, sehingga mendapatkan pesan gabungan yang urutannya benar. Metode yang digunakan sama seperti mengacak urutan dari pesan pada saat enkripsi.
2. Membuat penanda untuk memisahkan IV, kunci AES terenkripsi, dan ciphertext.
3. Pisahkan IV, kunci AES terenkripsi, ciphertext untuk keperluan dekripsi.
4. Dekripsi kunci AES terenkripsi dengan kunci privat penerima.
5. Dekripsi pesan terenkripsi menggunakan AES.

c. Coding

Tahap coding merupakan tahap pembuatan kode program berdasarkan perancangan aplikasi yang telah dibuat. Hasil dari coding ini merupakan protoipe dari aplikasi. Pembuatan kode program aplikasi ini menggunakan bahasa pemrograman Python. Dalam pembuatan aplikasi digunakan protokol SMTP untuk mengirim e-mail, IMAP untuk mengunduh e-mail, SSL untuk mengamankan komunikasi antara klien dan server, dan Gmail API untuk kebutuhan autentikasi.

d. Testing

Tahap testing merupakan tahap untuk menguji aplikasi yang telah dibuat. Pada pengujian aplikasi ini dilakukan pengujian blackbox dan pengujian keamanan dengan melakukan penyerangan brute force.

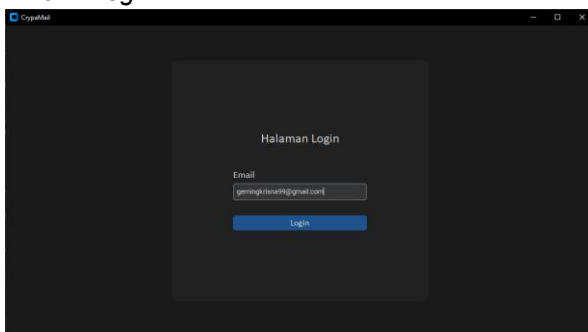
e. Software Increment

Pada tahap ini dilakukan pengembangan lebih lanjut dengan menambahkan fitur baru sehingga kemampuan fungsional aplikasi bertambah.

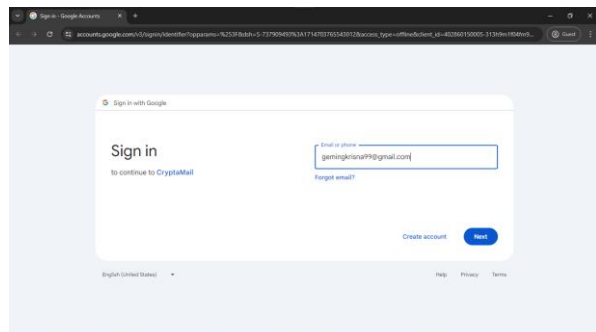
3. Hasil dan Diskusi

3.1. Penggunaan Aplikasi

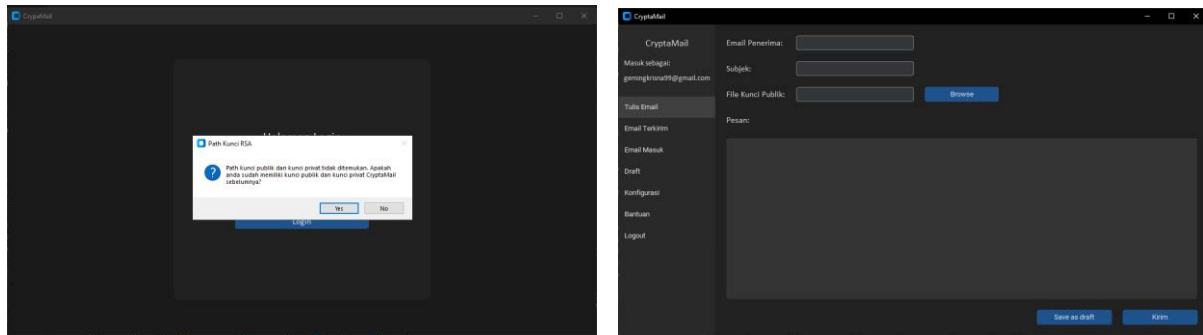
a. Login



(a) halaman login aplikasi



(b) halaman sign in gmail



(c) *pop up path* Kunci RSA

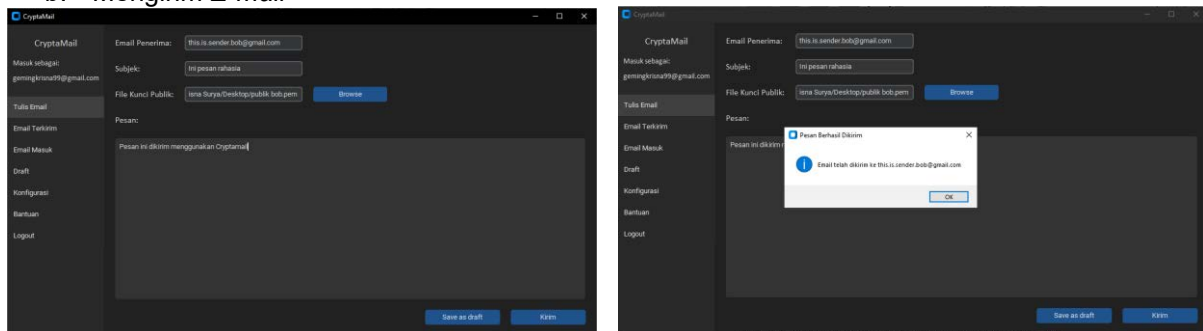
(d) halaman tulis *e-mail*

Gambar 4. Login Aplikasi

Login merupakan proses pertama untuk menggunakan aplikasi. Proses login dapat dilihat pada Gambar 4. Berikut merupakan langkah-langkah untuk melakukan login:

1. Mengisi alamat *e-mail* pada kolom "*E-mail*", kemudian tekan tombol "Login" seperti yang terlihat pada Gambar 4 (a)
2. *Browser* akan muncul dengan halaman *sign in* dari google untuk melakukan autentikasi seperti yang terlihat pada Gambar 4 (b). Ikuti langkah yang disediakan oleh google.
3. Setelah proses autentikasi selesai, apabila pengguna baru pertama kali menggunakan aplikasi atau *login* pada perangkat lain, akan muncul pop up pembuatan kunci RSA seperti yang terlihat pada Gambar 4 (c). Tekan "Yes" apabila pengguna sudah memiliki kunci RSA dan tekan "No" apabila pengguna belum memiliki kunci RSA.
4. Setelah proses *Login* selesai aplikasi akan menampilkan halaman Tulis *E-mail* seperti yang terlihat pada Gambar 4 (d).

b. Mengirim *E-mail*



(a) halaman tulis *e-mail* yang terisi semua

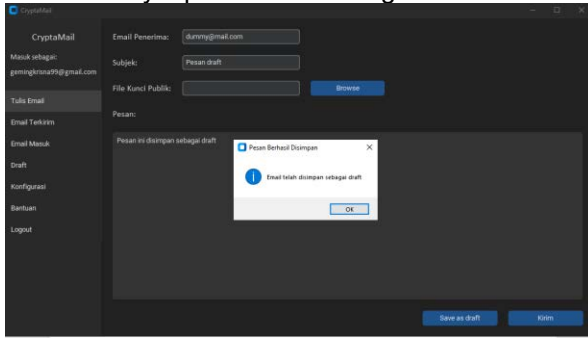
(b) *pop up e-mail* terkirim

Gambar 5. Mengirim *E-mail*

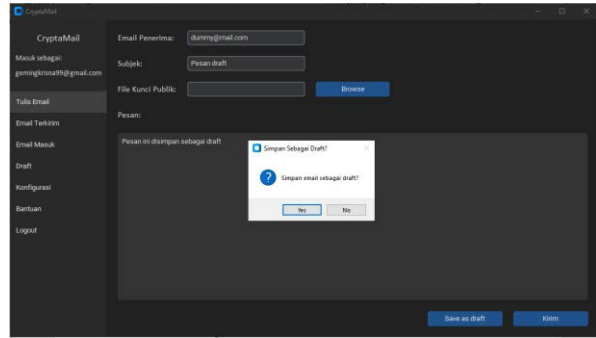
Proses mengirim *e-mail* dapat dilihat pada Gambar 5. Berikut merupakan langkah untuk mengirim *e-mail*:

1. Mengisi alamat *e-mail* penerima, subjek, dan pesan pada kolom yang disediakan serta memasukkan kunci publik penerima seperti pada Gambar 5 (a).
2. Setelah semua terisi, tekan Kirim dan tunggu hingga *pop up* muncul seperti pada Gambar 5 (b).

c. Menyimpan *E-mail* Sebagai Draft



(a) *pop up e-mail* disimpan sebagai draft



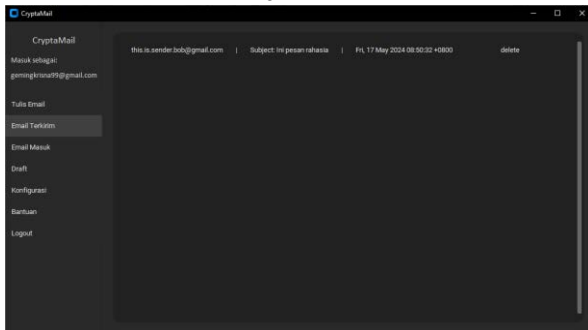
(b) *pop up simpan e-mail* sebagai draft

Gambar 6. Menyimpan *E-mail* Sebagai Draft

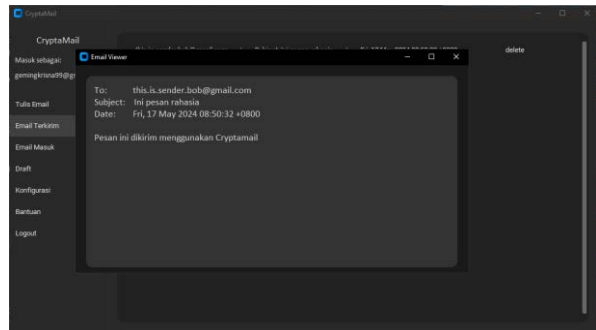
Untuk melakukan penyimpanan e-mail sebagai draft dapat dilihat pada Gambar 6. Langkah untuk menyimpan *e-mail* sebagai draft adalah sebagai berikut:

1. Mengisi data *e-mail* pada halaman Tulis *E-mail*.
2. Menekan tombol Save as draft dan tunggu sampai *pop up* muncul seperti pada Gambar 6 (a).
3. *E-mail* juga dapat disimpan ketika pengguna memilih halaman lain dan terdapat data *e-mail* pada halaman Tulis *E-mail* seperti pada Gambar 6 (b).

d. Membaca *E-mail* Terkirim



(a) halaman *E-mail* Terkirim



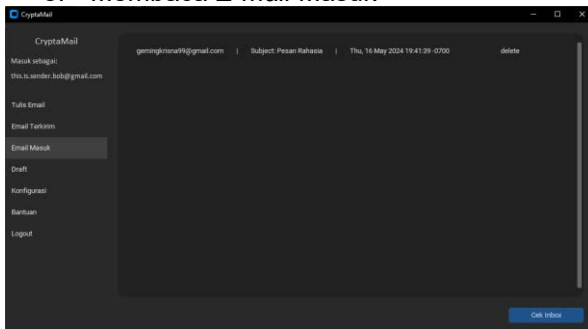
(b) membaca *e-mail* terkirim

Gambar 7. Membaca *E-mail* Terkirim

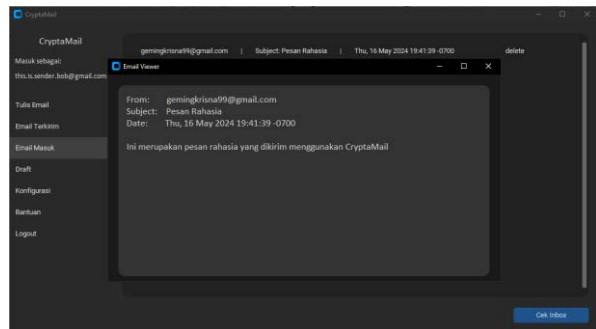
Untuk membaca e-mail terkirim dapat dilihat pada Gambar 7. Berikut langkah untuk membaca *e-mail* terkirim:

1. Menekan *E-mail* Terkirim pada panel navigasi sehingga aplikasi menampilkan halaman e-mail terkirim seperti yang terlihat pada Gambar 7 (a).
2. Menekan *e-mail* yang ingin dibaca sehingga aplikasi menampilkan e-mail yang terkirim seperti yang terlihat pada Gambar 7 (b).

e. Membaca *E-mail* Masuk



(a) halaman *E-mail* Masuk



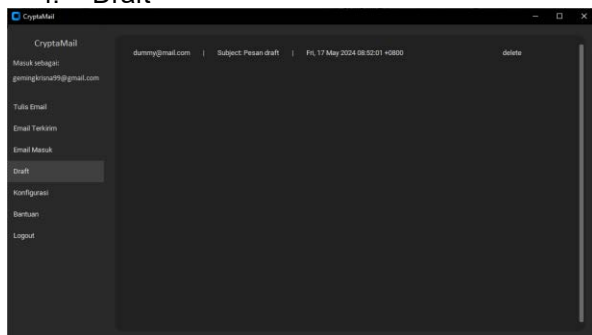
(b) membaca *e-mail* masuk

Gambar 8. Membaca *E-mail* Masuk

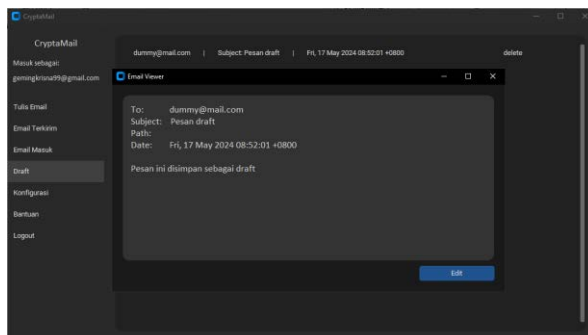
Untuk membaca e-mail masuk dapat dilihat pada Gambar 8. Berikut langkah untuk membaca *e-mail* masuk:

1. Menekan *E-mail* Masuk pada panel navigasi sehingga aplikasi menampilkan halaman e-mail masuk seperti yang terlihat pada Gambar 8 (a).
2. Menekan *e-mail* yang ingin dibaca sehingga aplikasi menampilkan e-mail yang masuk seperti yang terlihat pada Gambar 8 (b).

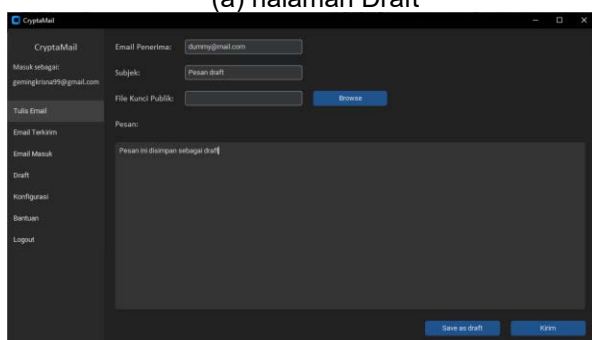
f. Draft



(a) halaman Draft



(b) membaca draft



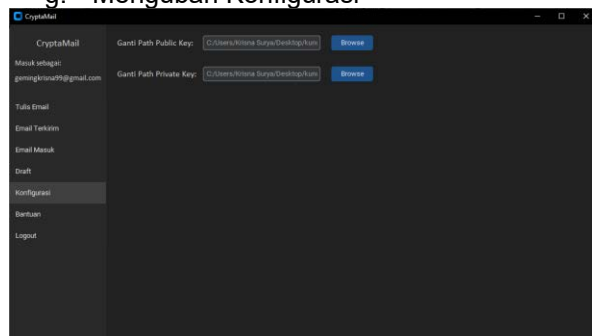
(c) halaman Tulis *E-mail* dengan data draft

Gambar 9. Membaca dan Mengedit Draft

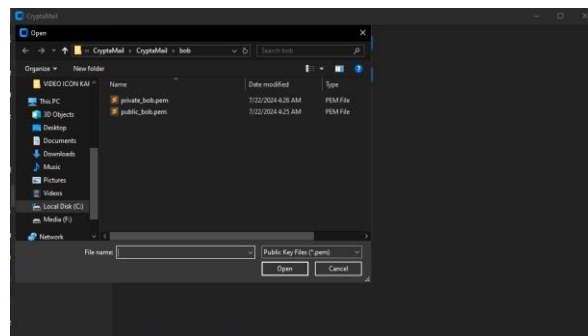
Untuk membaca dan mengedit draft dapat dilihat pada Gambar 9. Berikut langkah untuk membaca dan mengedit draft:

1. Menekan Draft pada panel navigasi sehingga halaman Draft muncul seperti pada Gambar 9 (a).
2. Menekan draft yang ingin dibaca sehingga aplikasi menampilkan draft yang dipilih seperti yang terlihat pada Gambar 9 (b).
3. Apabila ingin mengedit draft, tekan tombol Edit.
4. Aplikasi akan berpindah ke halaman Tulis *E-mail* untuk mengedit draft seperti yang terlihat pada Gambar 9 (c).

g. Mengubah Konfigurasi



(a) halaman Konfigurasi



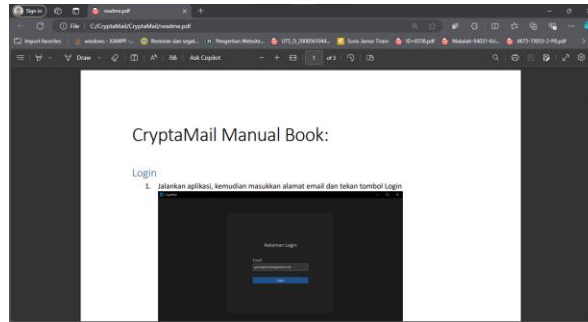
(b) jendela baru untuk memasukkan kunci publik atau kunci privat

Gambar 10. Konfigurasi Aplikasi

Untuk konfigurasi aplikasi dapat dilihat pada Gambar 9. Berikut langkah untuk mengubah konfigurasi:

1. Menekan Konfigurasi pada panel navigasi sehingga aplikasi menampilkan halaman konfigurasi seperti yang terlihat pada Gambar10 (a).
2. Menekan tombol Browse untuk memilih kunci publik atau kunci privat sehingga aplikasi menampilkan jendela baru untuk memilih kunci publik atau kunci privat seperti yang terlihat pada Gambar 10 (b).

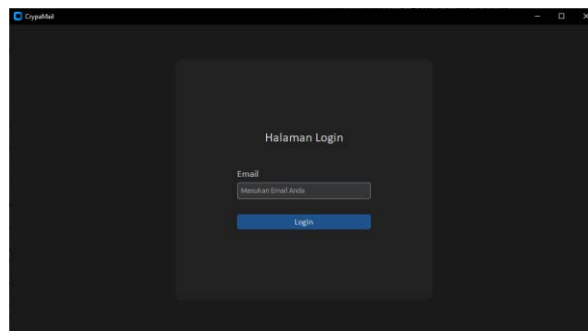
h. Menampilkan Bantuan



Gambar 11. File Bantuan Yang Dibuka Menggunakan Browser

Untuk menampilkan bantuan pengguna menekan Bantuan pada panel navigasi, file bantuan akan dibuka dengan *browser* atau aplikasi penampil pdf seperti yang terlihat pada Gambar 11.

i. Logout



Gambar 12. File Bantuan Yang Dibuka Menggunakan Browser

Logout dapat dilakukan dengan menekan Logout pada panel navigasi kemudian aplikasi akan kembali ke halaman Login seperti yang terlihat pada Gambar 12

3.2. Pengujian *Blackbox*

Pengujian *blackbox* pada aplikasi dilakukan dengan tujuan untuk memastikan aplikasi dapat berjalan sesuai dengan fungsionalitas yang telah ditetapkan sebelumnya. Hasil pengujian *blackbox* dapat dilihat pada tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Pengujian Blackbox

| No | Rancangan Proses | Hasil yang Diharapkan | Hasil | Keterangan |
|----|--|--|----------|---|
| 1. | Mengisi setiap data yang diperlukan untuk melakukan login dengan benar. | Aplikasi melakukan proses autentikasi | Berhasil | Jika semua kolom pada halaman login diisi dengan benar. |
| 2. | Mengisi setiap data yang diperlukan untuk mengirim pesan <i>e-mail</i> . | Aplikasi melakukan proses enkripsi subjek dan isi pesan yang dimasukkan, mengirimkan pesan <i>e-mail</i> dan membuat | Berhasil | Jika semua kolom pada halaman tulis <i>e-mail</i> diisi dengan benar. |

| | | | | |
|-----|--|---|----------|--|
| | | arsip dari <i>e-mail</i> yang dikirim. | | |
| 3. | Menekan tombol save as draft dengan minimal satu kolom terisi. | Aplikasi menyimpan data yang telah dimasukkan sebagai draft dan menampilkan pesan pop up pesan <i>e-mail</i> telah disimpan sebagai draft setelah data berhasil disimpan. | Berhasil | Minimal terdapat satu kolom yang terisi. |
| 4. | Menampilkan daftar <i>e-mail</i> terkirim. | Aplikasi menampilkan daftar <i>e-mail</i> terkirim | Berhasil | Jika terdapat minimal satu <i>e-mail</i> terkirim. |
| 5. | Menampilkan daftar <i>e-mail</i> masuk. | Aplikasi menampilkan daftar <i>e-mail</i> masuk | Berhasil | Jika terdapat minimal satu <i>e-mail</i> masuk. |
| 6. | Menekan tombol cek inbox. | Aplikasi akan melakukan pengecekan apakah terdapat <i>e-mail</i> masuk atau tidak | Berhasil | Menekan tombol cek inbox. |
| 7. | Memuat ulang daftar <i>e-mail</i> masuk. | Aplikasi memuat ulang daftar <i>e-mail</i> masuk sehingga <i>e-mail</i> masuk terbaru dapat dilihat oleh pengguna. | Berhasil | Minimal terdapat satu <i>e-mail</i> masuk ketika tombol cek inbox ditekan. |
| 8. | Menampilkan daftar draft <i>e-mail</i> . | Aplikasi menampilkan daftar draft <i>e-mail</i> | Berhasil | Jika terdapat minimal satu draft <i>e-mail</i> . |
| 9. | Menekan tombol edit. | Aplikasi akan mengisi data dari draft <i>e-mail</i> terpilih ke kolom yang berada di halaman tulis <i>e-mail</i> . Kemudian aplikasi akan pindah halaman ke halaman tulis <i>e-mail</i> . | Berhasil | |
| 10. | Menekan salah satu <i>e-mail</i> . | Aplikasi mendekripsi <i>e-mail</i> yang dipilih dan menampilkan window baru untuk melihat isi pesan. | Berhasil | |
| 11. | Menekan tombol delete. | Aplikasi menampilkan pop up pilihan apakah pengguna yakin menghapus <i>e-mail</i> atau tidak | Berhasil | |
| 12. | Menekan tombol yes pada pop up pilihan menghapus <i>e-mail</i> . | Aplikasi akan menghapus <i>e-mail</i> terkait. | Berhasil | |
| 13. | Menekan tombol no pada pop up pilihan menghapus <i>e-mail</i> . | Aplikasi tidak akan menghapus <i>e-mail</i> terkait. | Berhasil | |
| 14. | Mengubah path kunci publik | Aplikasi akan menggunakan path dari kunci publik yang dipilih untuk mengganti path kunci publik yang lama. | Berhasil | File yang dipilih harus file pem dari kunci publik. |
| 15. | Mengubah path kunci privat | Aplikasi akan menggunakan path dari kunci privat yang dipilih | Berhasil | File yang dipilih harus file pem dari kunci privat. |

| | | | |
|-----|---|---|----------|
| | | untuk mengganti path kunci privat yang lama. | |
| 16. | Menekan tombol bantuan pada panel navigasi. | Menampilkan file bantuan pada browser atau aplikasi pembuka file pdf yang digunakan. | Berhasil |
| 17. | Menekan tombol logout pada panel navigasi. | Menampilkan halaman login dan mengosongkan variabel yang berisikan data pengguna sebelumnya | Berhasil |

Pada tabel 1 hasil pengujian *blackbox* dapat dilihat bahwa aplikasi telah berhasil melewati pengujian Blackbox dengan sangat baik, di mana dari semua rancangan proses yang diujikan aplikasi berhasil memberikan hasil yang diharapkan.

3.3. Pengujian Brute Force

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa tahan hasil enkripsi menggunakan aplikasi terhadap serangan *Brute Force*. Dalam pengujian ini diasumsikan penyerang memiliki *ciphertext* dan kunci publik, di mana kunci publik digunakan untuk membuat kunci privat secara *brute force*. Berikut langkah pembuatan kunci privat yang dilakukan pada penelitian ini:

- Mengambil nilai eksponen publik dari kunci publik target.
- Membuat bilangan prima p dan q .
- Membuat modulus n dengan mengalikan p dan q .
- Menghitung fungsi totien Euler dengan $(p - 1) * (q - 1)$
- Memeriksa apakah nilai eksponen publik dan fungsi totien adalah saling prima, jika tidak maka proses akan kembali ke langkah membuat bilangan prima p dan q .
- Jika nilai eksponen publik dan fungsi totien adalah saling prima, hitung d dengan cara menghitung invers modular dari nilai eksponen publik modulo fungsi totien Euler.
- Setelah mendapatkan nilai d , langkah selanjutnya adalah membuat kunci privat menggunakan data yang telah dikumpul yakni modulus n , nilai eksponen publik, d , p , dan q .
- Ulangi pembuatan kunci privat sebanyak sepuluh kali.

Setelah selesai membuat kunci privat yang akan digunakan dalam membrute force *ciphertext*, langkah selanjutnya adalah mencoba mendekripsi paksa *ciphertext* sebanyak sepuluh. Hasil dari pengujian brute force pada *ciphertext* dapat dilihat pada Tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Pengujian Brute Force

| No | Kunci Yang Digunakan | Hasil |
|-----|----------------------|---|
| 1. | private_key_0.pem | <i>Ciphertext</i> with incorrect length |
| 2. | private_key_1.pem | <i>Ciphertext</i> with incorrect length |
| 3. | private_key_2.pem | <i>Ciphertext</i> with incorrect length |
| 4. | private_key_3.pem | <i>Ciphertext</i> with incorrect length |
| 5. | private_key_4.pem | <i>Ciphertext</i> with incorrect length |
| 6. | private_key_5.pem | <i>Ciphertext</i> with incorrect length |
| 7. | private_key_6.pem | <i>Ciphertext</i> with incorrect length |
| 8. | private_key_7.pem | <i>Ciphertext</i> with incorrect length |
| 9. | private_key_8.pem | <i>Ciphertext</i> with incorrect length |
| 10. | private_key_9.pem | <i>Ciphertext</i> with incorrect length |

Dapat dilihat dari tabel 2 hasil pengujian brute force didapatkan bahwa terjadi error saat proses pendekripsian yang dikarenakan panjang *ciphertext* yang salah. Hal ini disebabkan karena RSA digunakan dalam pengenkripsian kunci AES di mana panjang kunci AES berbeda dengan panjang *ciphertext*. *Ciphertext* yang dikirim sendiri merupakan gabungan dari IV, kunci AES yang dienkripsi menggunakan RSA, dan pesan yang dienkripsi menggunakan AES yang kemudian urutannya diacak. Sehingga perlu langkah awal sebelum mendekripsi *ciphertext* yang dikirim, yakni dengan mengurutkan kembali urutannya kemudian memisahkan IV, kunci AES yang dienkripsi menggunakan RSA, dan pesan yang dienkripsi menggunakan AES.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dalam penelitian ini, terdapat beberapa kesimpulan yang dapat ditarik, antara lain:

- a. Aplikasi yang dikembangkan menggunakan hybrid cryptosystem AES dan RSA dapat berfungsi dengan sangat baik dan memenuhi kebutuhan fungsional, hal ini dibuktikan dari hasil pengujian blackbox. Di mana dalam pengujian blackbox aplikasi berhasil melewati semua pengujian dengan hasil yang sesuai harapan.
- b. Ketahanan enkripsi terhadap serangan brute force sangat baik, di mana dari setiap percobaan brute force yang telah dilakukan menghasilkan error saat proses pendekripsian yang dikarenakan panjang *ciphertext* yang salah.

Adapun saran untuk pengembangan aplikasi lebih lanjut adalah penambahan fitur enkripsi dan dekripsi untuk file multimedia seperti gambar, audio, video, serta dokumen seperti PDF atau file Word. Sehingga penggunaan aplikasi dapat lebih luas lagi..

References

- [1] S. A. M. Babys, "ANCAMAN PERANG SIBER DI ERA DIGITAL DAN SOLUSI KEAMANAN NASIONAL INDONESIA," *JURNAL ORATIO DIRECTA*, vol. 3, pp. 425–442, 2021.
- [2] B. Schneier, "Applied Cryptography, Protocols, Algorithms, and Source Code in C," 1995.
- [3] S. I. Lestaringati, "Rekayasa Internet."
- [4] S. H. Murad and K. H. Rahouma, "Hybrid Cryptography for Cloud Security: Methodologies and Designs," in *Lecture Notes in Networks and Systems*, Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2022, pp. 129–140. doi: 10.1007/978-981-16-2275-5_7.
- [5] M. Iqbal Zulfikar, G. Abdillah, and A. Komarudin, "Kriptografi untuk Keamanan Pengiriman *E-mail* Menggunakan Blowfish dan Rivest Shamir Adleman (RSA)," 2019.
- [6] S. H. Murad and K. H. Rahouma, "Implementation and Performance Analysis of Hybrid Cryptographic Schemes applied in Cloud Computing Environment," in *Procedia Computer Science*, Elsevier B.V., 2021, pp. 165–172. doi: 10.1016/j.procs.2021.10.070.

This page is intentionally left blank.

Klasifikasi Gamelan Bali Menggunakan Support Vector Machine (SVM)

I Kadek Riski Ari Putra^{a1}, Luh Arida Ayu Rahning Putri^{a2}, I Made Widiartha^{a3}

^aProgram Studi Informatika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana
Badung, Bali, Indonesia

¹fxdeki@gmail.com

²rahningputri@unud.ac.id

³madewidiartha@unud.ac.id

Abstract

Balinese gamelan is traditional Balinese music in the form of an orchestra which consists of various kinds of instruments, using pelog and celendro scales. Various aspects of life and communal activities in Bali cannot be separated from gamelan religious ceremonies, official ceremonies, to entertainment. For ordinary people and tourists, distinguishing Balinese gamelan is not an easy thing, because not everyone has the knowledge of Balinese gamelan, as well as the experience of hearing and seeing Balinese gamelan. This research aims to classify Balinese gamelan based on their functions into two classes, namely Ceremonial Gamelan and Gamelan for entertainment using Support Vector Machine (SVM), as well as Mel-Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) for feature extraction from audio. The pre-processing stages include normalization and pre-emphasis, the features used are 13 MFCC coefficients, the classification process uses SVM with the RBF kernel. The results obtained is an SVM classification model with 86% accuracy using the parameters $C=5$, $\gamma=0.1$, and $\text{tol}=1e-1$.

Keywords: Bali, Gamelan, Mel-Frequency Cepstral Coefficients, Support Vector Machine, Classification, RBF.

1. Pendahuluan

Gamelan Bali merupakan musik tradisional Bali berupa orkestra yang terdiri dari berbagai macam instrumen. Gamelan Bali pada dasarnya menggunakan laras atau tangga nada bertipe *pelog* dan *selendro*. Berbagai aspek kehidupan dan kegiatan masyarakat di Bali tidak dapat terlepas dari gamelan mulai dari upacara keagamaan, upacara resmi, hingga hiburan. Sehingga dapat dikatakan bahwa hampir seluruh kegiatan di Bali mengikutsertakan gamelan di dalamnya. Bagi masyarakat yang awam maupun wisatawan membedakan gamelan Bali bukanlah hal yang mudah, hal ini disebabkan pengetahuan mengenai gamelan Bali yang tidak mendalam, serta pengalaman mendengar, dan melihat permainan gamelan Bali tidak dimiliki oleh semua orang. Hanya kalangan tertentu saja yang mengetahui penggolongan gamelan Bali seperti pecinta seni gamelan Bali itu sendiri, peneliti, dan para seniman pemain gamelan Bali [1].

Banyak masyarakat maupun wisatawan yang tertarik terhadap budaya gamelan Bali, namun membedakan gamelan Bali bukanlah hal yang mudah sebab pengetahuan mengenai gamelan Bali yang tidak dimiliki semua orang. Oleh karena itu perlu diciptakan sistem yang dapat membantu untuk mengklasifikasikan gamelan Bali secara otomatis berdasarkan fungsi gamelan tersebut, sehingga masyarakat awam dapat mengetahui fungsi gamelan tersebut dan dapat merepresentasikan serta menikmati gamelan tersebut dengan baik.

Penelitian ini membahas mengenai klasifikasi gamelan Bali ke dalam dua kelas yaitu gamelan upacara dan gamelan hiburan menggunakan *Support Vector Machine* (SVM) dan *Mel-Frequency Cepstral Coefficients* (MFCC) sebagai metode ekstraksi fitur dari gamelan. Pemilihan MFCC sebagai metode ekstraksi fitur didasarkan pada penelitian terdahulu [2][3][4] yang mendapatkan hasil yang baik dari ekstraksi fitur MFCC pada data audio terkait musik. Di mana MFCC dapat merepresentasikan sinyal audio dengan baik dan memiliki cara kerja yang didasarkan pada frekuensi yang sesuai dengan

pendengaran manusia [5]. Metode SVM digunakan dalam klasifikasi karena berdasarkan penelitian terdahulu, kombinasi MFCC dan SVM mendapatkan hasil yang baik dalam melakukan klasifikasi audio [2][3][6]. SVM juga memenuhi salah satu kebutuhan utama machine learning yaitu kecepatan dalam pelatihan model [7].

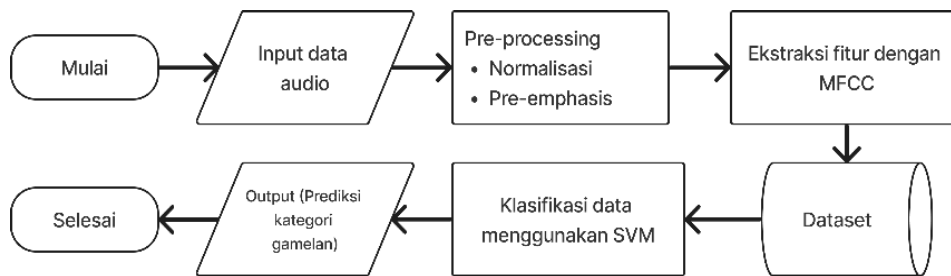
2. Metodologi Penelitian

2.1. Data Penelitian

Data yang akan digunakan pada penelitian merupakan data primer yang berupa *file* audio gamelan dari seorang pakar gamelan Bali yang telah diberi label. Data akan diubah menjadi *file* .wav, kemudian dipotong pada bagian yang perbedaannya paling menonjol yaitu bagian *refrain* menggunakan tools Audacity sepanjang 30 detik. Total data berjumlah 100 *file* audio dari gamelan yang berbeda-beda, dengan jumlah 50 audio gamelan upacara dan 50 audio gamelan hiburan.

2.2. Desain Sistem

Penelitian ini mengimplementasikan metode *Support Vector Machine* (SVM) untuk klasifikasi gamelan Bali. *Input* yang akan diterima oleh sistem berupa *file* audio yang akan melalui proses *pre-processing*, ekstraksi fitur, dan klasifikasi.



Gambar 1. Gambaran Alur Kerja Sistem

Seperti pada grafik yang dapat dilihat pada Gambar 1, alur kerja dari sistem yang akan dibangun adalah sebagai berikut.

a. *Input Data Audio*

Sistem akan menerima *input* berupa *file* audio berbentuk .wav dengan durasi 30 detik. Dengan bantuan *library python librosa.load file* audio akan dimuat menjadi sebuah array yang berisi amplitudo dari sinyal audio di mana setiap nilai dalam array tersebut mewakili amplitudo dari audio pada waktu tertentu. *Sample rate* (jumlah sampel audio per detik) yang digunakan pada penelitian ini adalah 44100 sampel per detik (44,1 kHz).

b. *Pre-processing Data*

Sebelum data melalui proses ekstraksi fitur akan dilakukan *pre-processing* data terlebih dahulu untuk meningkatkan kualitas dari data sebelum diolah lebih lanjut dalam penelitian. Adapun proses *pre-processing* data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Normalisasi

Normalisasi pada penelitian ini dilakukan dengan *min-max normalization* dengan persamaan (1) yang akan mentransformasi nilai terendah dalam data ke 0 dan nilai tertinggi dalam data ke 1 sehingga nilai-nilai di antaranya terdistribusi secara proporsional.

$$norm(y) = \frac{y - \min(y)}{\max(y) - \min(y)} \quad (1)$$

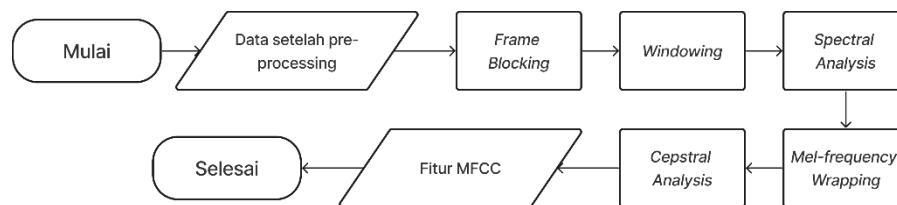
2. *Pre-emphasis*

Proses pre-emphasis dengan persamaan (2) merupakan penekanan pada frekuensi tinggi untuk menangkap detail yang ada pada frekuensi tersebut. Dalam penelitian ini koefisien yang digunakan dalam pre-emphasis adalah 0.95.

$$y[n] = x[n] - coef \times x[n - 1] \quad (2)$$

c. Ekstraksi Fitur Menggunakan MFCC

Data yang telah diolah menjadi potongan audio gamelan Bali selanjutnya akan diekstraksi menggunakan *Mel-Frequency Cepstral Coefficient*. MFCC merupakan salah satu metode yang sering digunakan untuk ekstraksi fitur karena memiliki waktu ekstraksi yang lebih cepat dan akurasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode lainnya [8]. Ekstraksi fitur MFCC akan dilakukan menggunakan bahasa *python* untuk mendapatkan fitur-fitur dari data audio. Langkah-langkah yang dilakukan dalam ekstraksi fitur diilustrasikan pada Gambar 2 [4].



Gambar 2. Ekstraksi Fitur MFCC

Berdasarkan grafik yang dapat dilihat pada Gambar 2, berikut merupakan proses ekstraksi fitur MFCC.

1. *Input* Proses MFCC

Sistem akan menerima data berupa hasil dari proses *pre-processing* sebelumnya yang meliputi normalisasi dan *pre-emphasis*.

2. *Frame Blocking*

Dalam proses ini sinyal suara akan disegmentasi menjadi beberapa *frame* berukuran 40ms dengan *overlapping* (tumpukkan) sebesar 50% mengacu pada [9] yang menyebutkan bahwa *frame* diambil sepanjang 40ms untuk mendapatkan resolusi frekuensi yang baik.

3. *Windowing*

Proses *windowing* dilakukan untuk mengurangi diskontinuitas sinyal setelah *frame blocking*. Proses ini dilakukan dengan fungsi *hamming window*. *Hamming window* dapat menghasilkan *sidelobe* (kebocoran) yang tidak terlalu tinggi dan *noise* yang tidak terlalu besar sehingga menjadi fungsi *window* yang paling sering digunakan [10].

4. *Spectral Analysis*

Proses *spectral analysis* dilakukan dengan *Fast Fourier Transform*, setiap *frame* akan diubah menjadi domain frekuensi untuk kemudian dipetakan menjadi *mel-frequency*.

5. *Mel-frequency wrapping*

Dalam proses ini, frekuensi akan diubah ke spektrum mel dalam skala linear untuk frekuensi di bawah 1000 Hz dan skala logaritmik untuk frekuensi di atas 100 Hz.

6. *Cepstral Analysis*

Proses *cepstral analysis* dilakukan dengan *Cepstrum* yang bertujuan untuk menghasilkan fitur dari ekstraksi yang telah dilakukan. Data diubah dari domain frekuensi menjadi domain waktu kembali yang kemudian akan menghasilkan matriks fitur MFCC dengan koefisien MFCC sejumlah 13 koefisien.

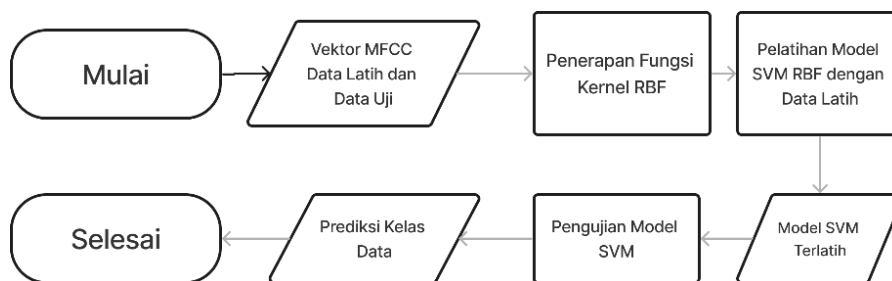
7. Output MFCC

Hasil dari proses ekstraksi MFCC berupa matriks MFCC yang tersusun dari frame dan koefisien MFCC yang memiliki ukuran jumlah frame \times jumlah koefisien MFCC. Jumlah koefisien MFCC yang digunakan adalah sebanyak 13, hal ini dikarenakan koefisien MFCC di awal sering kali menangkap karakteristik spektral musik yang paling relevan karena MFCC mengadopsi cara kerja telinga manusia yang lebih sensitif terhadap perubahan suara di frekuensi rendah, serta untuk mengurangi dimensi fitur sehingga dapat meningkatkan efisiensi komputasi. Pada penelitian terdahulu 13 koefisien MFCC dapat memberikan akurasi klasifikasi hingga 91% saat menggunakan SVM dengan *kernel Gaussian* (RBF) [6].

Hasil MFCC dari setiap data (1 *file audio*) akan disimpan dalam bentuk array 1 dimensi dengan mengambil nilai rata-rata (*means*) dari semua frame MFCC0 sampai MFCC12. Sehingga setiap array akan memiliki panjang 13 sesuai dengan jumlah koefisien MFCC yang diekstraksi dan setiap koefisien MFCC akan memiliki 1 nilai saja yang merepresentasikan fitur spektral dari keseluruhan *frame* dalam 1 data (*file audio*). Dataset akan berdimensi 100×13 yang tersusun dari jumlah keseluruhan data dan jumlah koefisien MFCC yang diekstraksi.

d. Klasifikasi Dengan SVM

Tahap klasifikasi dengan SVM merupakan tahap pembangunan model dengan metode SVM agar dapat mengklasifikasikan gamelan Bali. Pada penelitian ini pelatihan akan dilakukan menggunakan *kernel radial basis function* (RBF). Kernel RBF dipilih karena memiliki kinerja yang baik dalam SVM untuk melakukan klasifikasi audio. Penelitian terdahulu untuk klasifikasi audio memberikan hasil yang baik dengan menggunakan kernel RBF [2], [6]. Proses pelatihan dan pengujian SVM diilustrasikan pada Gambar 3 [11].



Gambar 3. Klasifikasi Dengan SVM

Pada grafik dalam Gambar 3 dapat dilihat bahwa proses klasifikasi menggunakan SVM adalah sebagai berikut.

1. Input Data

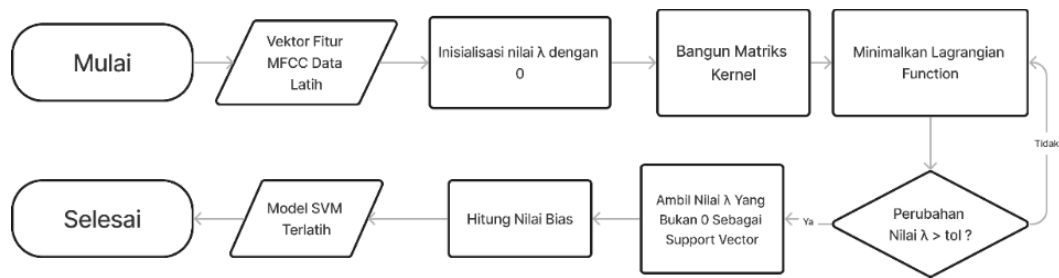
Data yang akan diterima adalah vektor fitur MFCC dari hasil proses ekstraksi fitur yang terbagi menjadi dua yaitu data latih dan data uji dengan rasio perbandingan 80:20. Data latih akan digunakan pada Pelatihan Model dan data uji akan digunakan pada Pengujian Model SVM Terlatih seperti pada Gambar 3.

2. Penerapan Fungsi *Kernel* RBF

Pada algoritma SVM akan diterapkan *kernel radial basis function* yang mengklasifikasikan data non-linear dengan menghitung jarak antar data dalam dimensi yang lebih tinggi dengan persamaan (4).

3. Pelatihan Model SVM

Pada proses ini Model SVM akan dilatih untuk mendapatkan *hyperplane* optimal dan terbaik untuk mengklasifikasikan data. Proses pelatihan model diilustrasikan dalam *flowchart* pada Gambar 4 [12].



Gambar 4. Pelatihan Model SVM

- Inisialisasi nilai λ dengan 0 agar memenuhi syarat pada persamaan (1) dan (2)

$$0 \leq \lambda_i \leq C \quad (1)$$

$$\sum_i \lambda_i = 0 \quad (2)$$

- Bangun matriks kernel (3) dengan menggunakan fungsi kernel pada persamaan (4).

$$K = \begin{pmatrix} y_1 y_1 K(x_1; x_1) & y_1 y_2 K(x_1; x_2) & \dots & y_1 y_N K(x_1; x_N) \\ y_2 y_1 K(x_2; x_1) & y_2 y_2 K(x_2; x_2) & \dots & y_2 y_N K(x_2; x_N) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_N y_1 K(x_N; x_1) & y_N y_2 K(x_N; x_2) & \dots & y_N y_N K(x_N; x_N) \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$K(x_i, x_j) = e^{-\gamma(x_i - x_j)^2} \quad (4)$$

- Minimalkan lagrangian function dengan persamaan (5) hingga perubahan nilainya lebih kecil dari parameter **tol** yang merupakan toleransi perubahan λ antar iterasi.

$$L^* = k_0^T v_0 + \frac{1}{2} v_0^T Q v_0 \quad (5)$$

$$v_0 = (\lambda_M, \lambda_L)^T \quad (6)$$

$$k_0 = (1 - \lambda^T K_M, 1 - \lambda^T K_L)^T \quad (7)$$

$$Q = \begin{pmatrix} K_{M,M} & K_{M,L} \\ K_{L,M} & K_{L,L} \end{pmatrix} \quad (8)$$

Di mana

λ_i merupakan nilai bobot setiap titik data

x merupakan nilai fitur data

y merupakan label dari data

K merupakan fungsi kernel

C merupakan *penalty parameter* yang mengatur toleransi terhadap misklasifikasi

- Ambil nilai λ yang bukan nol sebagai *support vector*.
- Hitung nilai *bias* dengan persamaan (9).

$$b = \mathbb{E}_k [y_k - \sum_i \lambda_i y_i (x_i \cdot x_k) | \lambda_k > 0] \quad (9)$$

Di mana

λ_i merupakan nilai bobot setiap titik data

x_i merupakan vektor fitur titik data ke- i

x_k merupakan vektor fitur *support vector* ke- k

y_i merupakan label dari titik data ke- i

y_k merupakan label dari *support vector* ke- k

$(x_i \cdot x_k)$ merupakan *dot product* yang didapatkan dari fungsi kernel

Setelah melalui proses pelatihan, maka model SVM dapat digunakan untuk melakukan prediksi/klasifikasi.

d. Pengujian Model SVM

Pengujian pada Model SVM ini bertujuan untuk mengetahui apakah model dapat melakukan prediksi atau klasifikasi dengan baik. Pengujian dilakukan dengan menggunakan model untuk melakukan prediksi kelas pada sebuah data dengan persamaan (10).

$$class = sign(f(x)), \quad f(x) = \sum_i \lambda_i y_i (x_i \cdot x) + b \quad (10)$$

Di mana

λ_i merupakan nilai bobot setiap titik data

x_i merupakan vektor fitur titik data ke-i

x_k merupakan vektor fitur *support vector* ke-k

y_i merupakan label dari titik data ke-i

y_k merupakan label dari *support vector* ke-k

$(x_i \cdot x_k)$ merupakan *dot product* yang didapatkan dari fungsi kernel

e. *Output* (Hasil Klasifikasi)

Setelah proses pelatihan model selesai maka model dapat digunakan untuk melakukan klasifikasi/prediksi dan akan menampilkan hasil klasifikasi tersebut yang berupa prediksi kelas dari data gamelan Bali yang diberikan pada model.

2.3 Desain Evaluasi

Model SVM yang dikembangkan akan diuji menggunakan K-Fold Cross Validation. K-Fold Cross Validation merupakan metode yang digunakan untuk menguji rata-rata keberhasilan suatu sistem [13]. K-Fold Cross Validation bekerja dengan melakukan perulangan yang akan mengacak data menjadi k fold dan menggunakan k-1 fold sebagai data latih dan 1 fold sebagai data uji secara bergantian. Dalam penelitian ini, jumlah fold (K) yang digunakan adalah 10 fold.

Untuk memperoleh model yang optimal maka dilakukan *hyperparameter tuning* pada model SVM. Terdapat 3 *hyperparameter* yang akan diuji coba yaitu *penalty parameter* (C) dan *kernel coefficients* (gamma) serta nilai toleransi perubahan λ antar iterasi (tol) pada model SVM.

Nilai C (*penalty parameter*) merupakan parameter yang menentukan toleransi terhadap misklasifikasi di mana semakin besar nilai C maka toleransi terhadap misklasifikasi akan lebih kecil sehingga SVM akan mencoba mencari *hyperplane* terbaik dengan menghindari misklasifikasi. Rentang nilai C yang akan diujikan adalah 1, 5, 10, 15 dan 20. Semakin besar nilai C maka *hyperplane* akan memiliki margin yang lebih kecil, dan jika *hyperplane* tersebut dapat bekerja dengan baik maka model SVM akan semakin spesifik. Namun, jika nilai C terlalu besar maka hal ini dapat menyebabkan *overfitting* [14].

Nilai gamma (*kernel coefficients*) menentukan seberapa jauh pengaruh dari sebuah titik data dalam pembentukan *hyperplane* yang memisahkan antara dua kelas, nilai gamma yang akan diujikan adalah 0.05, 0.075, 0,1, 0.125 dan 0.15 dengan mempertimbangkan jarak data terhadap keterkaitan antar data, di mana dengan nilai gamma kecil keterkaitan antar data bisa saja terjadi meski jarak antar data tersebut jauh. Sedangkan, dengan nilai gamma yang lebih besar jarak antar data yang jauh akan memperkecil keterkaitannya.

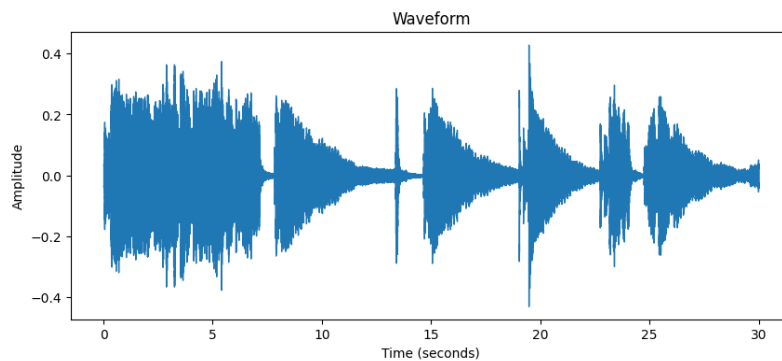
Nilai tol (toleransi perubahan λ antar iterasi) merupakan pemeriksaan perubahan nilai λ saat pelatihan model SVM. Hal ini dilakukan agar penggunaan sumber daya komputasi lebih efektif sehingga pelatihan akan dihentikan saat perubahan nilai λ sudah lebih kecil dari nilai toleransi. Beberapa nilai toleransi pelatihan yang akan diuji coba dalam penelitian ini adalah $1e-3$ hingga $1e+1$. Evaluasi ini bertujuan untuk menemukan nilai *hyperparameter* terbaik yang dapat menghasilkan akurasi tertinggi pada model SVM dalam jumlah iterasi pelatihan yang kecil.

Akurasi model SVM yang dikembangkan dihitung dengan persamaan (11). Nilai akurasi diukur berdasarkan jumlah prediksi yang sesuai atau terklasifikasikan dengan benar yang dibagi dengan jumlah data uji.

$$Akurasi = \frac{Jumlah\ Prediksi\ Benar}{Jumlah\ Data\ Uji} \times 100\% \quad (11)$$

3. Hasil dan Diskusi

3.1. Representasi Data Audio Gamelan

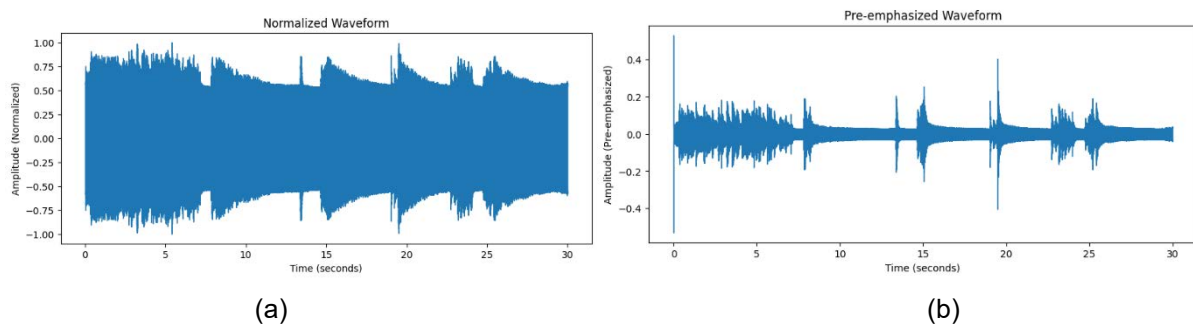


Gambar 5. Representasi Data Audio

Pada grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5, grafik tersebut menampilkan amplitudo dalam gelombang suara data audio. Terdapat sejumlah 1.323.000 sampel pada setiap file audio, di mana setiap file audio berdurasi 30 detik dengan 44.100 sampel. Contoh ilustrasi hasil pembacaan file audio 'pertunjukan_025.wav' pada Gambar 6.

3.2. Pre-processing Data

Data audio gamelan kemudian masuk tahap *pre-processing* berupa normalisasi dengan min-max normalization untuk meratakan amplitudo dan pre-emphasis untuk meningkatkan efisiensi analisis sinyal audio dengan tujuan meningkatkan sinyal di frekuensi tinggi untuk menangkap detail yang ada di frekuensi tersebut. Gelombang amplitudo audio setelah normalisasi dapat dilihat pada Gambar 6a dan gelombang audio setelah pre-emphasis dapat dilihat pada Gambar 6b.



Gambar 6. Hasil *Pre-processing* (a) Hasil Normalisasi (b) Hasil *Pre-emphasis*

3.3. Ekstraksi Fitur MFCC

Setelah mendapatkan data audio yang telah melalui proses *pre-processing* maka dapat dilanjutkan ke proses ekstraksi fitur menggunakan Mel-Frequency Cepstral Coefficients (MFCC). Hasil Ekstraksi berupa matriks fitur MFCC sejumlah 13 koefisien dari MFCC0-MFCC12 seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Matriks Fitur MFCC

| Frame | MFCC0 | MFCC1 | ... | MFCC12 |
|-------|-----------|-----------|-----|-----------|
| 0 | 12.880716 | -0.011487 | ... | 0.000849 |
| 1 | -4.479448 | -0.401039 | ... | -0.220288 |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| 749 | -5.429123 | 0.662139 | ... | -0.038364 |

Matriks fitur MFCC akan disimpan sebagai vektor fitur dalam bentuk tabel dataset dengan mengambil nilai rata-rata (means) dari seluruh frame untuk setiap koefisien MFCC sehingga 1 file audio akan memiliki 1 vektor fitur MFCC seperti pada Tabel 2 dimana terdapat nama *file*, 13 koefisien MFCC dari MFCC0 hingga MFCC12, dan label dari setiap data.

Tabel 2. Dataset Vektor Fitur MFCC

| Filename | MFCC0 | MFCC1 | ... | MFCC12 | Label |
|----------------------------|----------|----------|-----|-----------|---------|
| angklungklentangan_002.wav | 4.950594 | 0.360541 | ... | -0.674247 | Upacara |
| angklungklentangan_003.wav | 5.041135 | 0.783111 | ... | -0.566654 | Upacara |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| pertunjukan_025.wav | 1.311476 | 3.356117 | ... | -0.426246 | Hiburan |

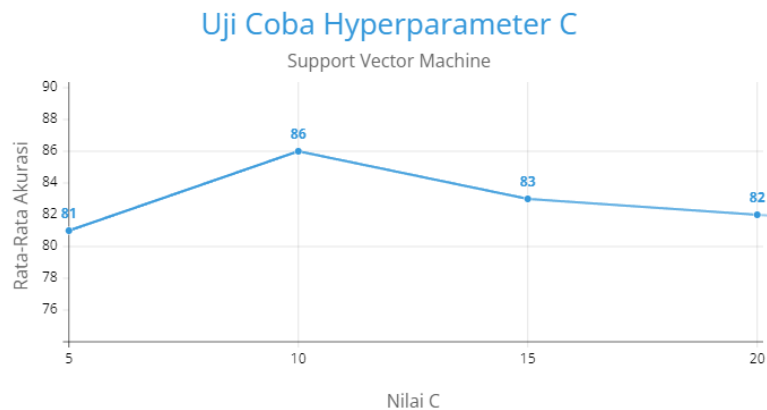
3.4. Klasifikasi Dengan SVM

Dataset yang dihasilkan dari proses ekstraksi fitur MFCC kemudian akan digunakan dalam pelatihan model SVM yang dilatih menggunakan *hyperparameter default* berupa $C=1$, $\gamma=0.1$, dan $\text{tol}=1e-5$. Kemudian model diuji untuk mengetahui apakah model dapat melakukan prediksi atau klasifikasi dengan baik.

3.5. Evaluasi

Evaluasi pada model SVM yang dikembangkan berfungsi untuk mengetahui kinerja terbaik dari model tersebut. Untuk mengetahui kinerja terbaik model SVM dilakukan *K-Fold Cross Validation* sebanyak 10 *fold* serta *hyperparameter tuning* pada model SVM, sehingga didapatkan nilai akurasi SVM yang terbaik. *Hyperparameter* yang diuji coba adalah C (*penalty parameter*), γ (koefisien dari *kernel RBF*), dan tol (nilai toleransi perubahan λ antar iterasi) dengan *10 fold Cross Validation* kemudian rata-rata hasil pengujian akan digunakan sebagai nilai akhir.

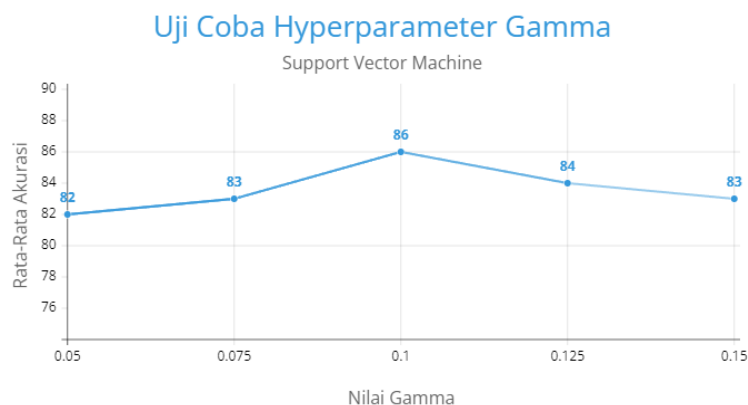
1. Uji Coba *Hyperparameter C*



Gambar 7. Hasil Uji Coba Parameter C

Hasil uji coba *tuning* parameter C dapat dilihat pada grafik dalam Gambar 7, parameter lain yang digunakan dalam uji coba parameter C adalah $\gamma=0.1$, dan $\text{tol}=1e-5$. Gambar 7 menunjukkan bahwa perubahan nilai C dari parameter awal yaitu 1 ke 5 menunjukkan peningkatan rata-rata akurasi dari 81% ke 86%, nilai C 10 menurunkan rata-rata akurasi ke 83%, nilai C 15 menurunkan rata-rata akurasi ke 82%, dan nilai C 20 menurunkan rata-rata akurasi ke 81%. Sehingga nilai 5 merupakan nilai C terbaik yang dapat digunakan dalam penelitian ini.

2. Uji Coba *Hyperparameter Gamma*



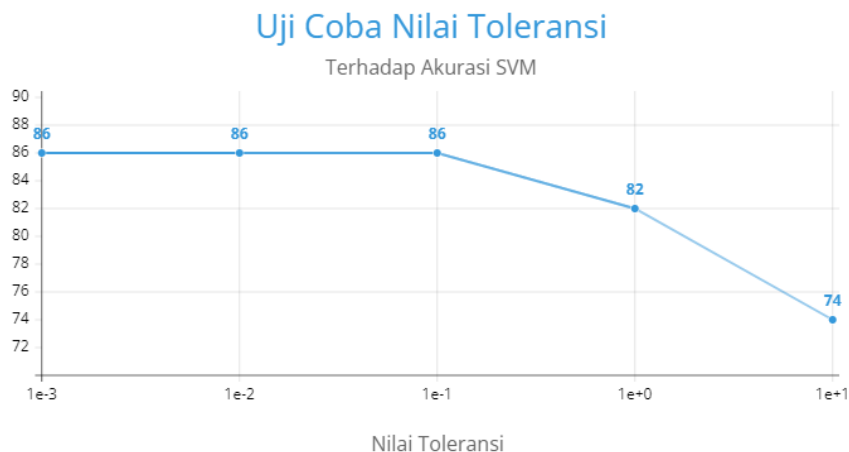
Gambar 8. Hasil Uji Coba Parameter Gamma

Hasil uji coba *tuning* parameter gamma dapat dilihat pada grafik dalam Gambar 8, parameter lain yang digunakan dalam uji coba parameter gamma adalah $C=5$, dan $tol=1e-5$. Gambar 8 menunjukkan bahwa nilai gamma 0.05 menghasilkan rata-rata akurasi sebesar 82%, nilai gamma 0.075 meningkatkan akurasi ke 83%, nilai gamma 0.1 meningkatkan akurasi ke 86%. Kemudian nilai gamma 0.125 menurunkan akurasi ke 84%, dan nilai gamma 0.15 menurunkan akurasi ke 83%. Sehingga, berdasarkan hasil pengujian tersebut nilai 0.1 merupakan nilai gamma terbaik yang dapat digunakan pada penelitian ini.

3. Uji Coba Nilai Toleransi

Parameter tol (nilai toleransi perubahan λ antar iterasi) dalam pelatihan model SVM akan berpengaruh terhadap akurasi klasifikasi model SVM dan beban komputasi selama pelatihan model SVM. Oleh karena itu, perlu ditemukan nilai toleransi pelatihan terbaik yang memiliki jumlah iterasi paling sedikit untuk mencapai akurasi terbaik dari model SVM.

Hasil uji coba nilai toleransi dapat dilihat pada grafik dalam Gambar 9, parameter lain yang digunakan dalam uji coba parameter tol adalah $C=5$, dan $gamma=0.1$ yang merupakan nilai terbaik parameter tersebut. Gambar 9 menunjukkan bahwa meningkatkan nilai tol mulai dari $1e-3$ tidak merubah rata-rata akurasi kinerja model hingga nilai $1e-1$. Namun, meningkatkan nilai tol ke $1e+0$ menurunkan akurasi kinerja model ke 82%, kemudian nilai tol $1e+1$ menurunkan akurasi model hingga 74%. Grafik pada Gambar 10 menunjukkan bahwa meningkatkan nilai tol menurunkan akan jumlah iterasi pelatihan, namun mengacu pada grafik dalam Gambar 9, nilai $1e+0$ akan menurunkan akurasi model ke 82%, dan nilai $1e+1$ menurunkan akurasi hingga 74% meskipun menurunkan jumlah iterasi.



Gambar 9. Hasil Uji Coba Nilai Toleransi Terhadap Akurasi



Gambar 10. Hasil Uji Coba Nilai Toleransi Terhadap Jumlah Iterasi

Berdasarkan hasil pengujian tersebut nilai $1e-1$ merupakan nilai toleransi terbaik yang dapat digunakan dalam penelitian ini karena memiliki jumlah iterasi yang paling sedikit namun dapat menghasilkan akurasi maksimal pada model SVM.

Rata-rata akurasi terbaik model adalah sebesar 86% dalam rata-rata 27 iterasi yang diperoleh dengan *hyperparameter* berupa $C=5$, $\gamma=0.1$, serta $tol=1e-1$. Hal ini menunjukkan bahwa optimasi *hyperparameter* dapat meningkatkan efisiensi dan performa model.

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan hasil pengujian dalam penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa Metode ekstraksi fitur *Mel-Frequency Cepstral Coefficients* dan metode *Support Vector Machine* dapat digunakan untuk mengklasifikasikan gamelan Bali berdasarkan fungsinya ke dalam dua kelas yaitu Gamelan Upacara dan Gamelan Hiburan dengan rata-rata akurasi tertinggi sebesar 86% yang diperoleh dengan menggunakan 13 koefisien MFCC, serta model SVM dengan nilai *hyperparameter* $C=5$, $\gamma=0.1$, dan toleransi perubahan λ antar iterasi (tol)= $1e-1$.

Referensi

- [1] I. G. Harsemadi, "Purwarupa Sistem Ekstraksi Fitur Audio Pada Musik Gamelan Tradisional Bali," in *Seminar Nasional Telekomunikasi dan Informatika (SELISIK 2018)*, 2018, pp. 251–258.
- [2] A. Danika, J. Raharjo, and B. Hidayat, "Deteksi Suara Gitar Dengan Bahan Jenis Senar Berbeda Melalui Ciri Akustik Dengan Mel-Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) Dan Support Vector Machine (SVM)," *eProceedings of Engineering*, vol. 9, no. 6, pp. 2936–2942, 2023.
- [3] S. Y. Yehezkiel and Y. Suyanto, "Music Genre Identification Using SVM and MFCC Feature Extraction," *IJEIS (Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems)*, vol. 12, no. 2, p. 115, Oct. 2022, doi: 10.22146/ijeis.70898.
- [4] P. D. Prasetyo, I. G. P. S. Wijaya, and A. Y. Husodo, "KLASIFIKASI GENRE MUSIK MENGGUNAKAN METODE MEL FREQUENCY CEPSTRUM COEFFICIENTS (MFCC) DAN K-NEAREST NEIGHBORS CLASSIFIER (Classification of Music Genres Using The Mel-Frequency Cepstrum Coefficients (MFCC) and K-Nearest Neighbors Classifier Methods)," *Jurnal Teknologi Informasi, Komputer, dan Aplikasinya (JTika)*, vol. 1, no. 2, pp. 189–197, 2019, [Online]. Available: <http://jtika.if.unram.ac.id/index.php/JTIKA/>
- [5] Ajrana, A. Akbar, and A. Lawi, "Implementasi Algoritma Deep Artificial Neural Network Menggunakan Mel Frequency Cepstrum Coefficient Untuk Klasifikasi Audio Emosi Manusia," in *KONIK (Konferensi Nasional Ilmu Komputer)*, 2021, pp. 66–73. [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/ejlok1/toronto->

- [6] R. Thiruvengatanadhan, "Music Classification using MFCC and SVM," *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, vol. 5, no. 9, pp. 922–924, 2018.
- [7] D. P. Adi and A. B. Gumelar, "Deteksi Emosi Wicara pada Media On-Demand menggunakan SVM dan LSTM," *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*, vol. 4, no. 5, pp. 799–804, 2020.
- [8] K. Nugroho, E. Winarno, E. Zuliarso, and Sunardi, "Multi-Accent Speaker Detection Using Normalize Feature MFCC Neural Network Method," *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*, vol. 7, no. 4, pp. 832–836, Aug. 2023, doi: 10.29207/resti.v7i4.4652.
- [9] Heriyanto, "DETEKSI SUARA UCAPAN SALAM BAHASA ARAB MENGGUNAKAN MEL FREQUENCY CEPSTRAL COEFFICIENT (MFCC) DAN PEMILIHAN FITUR MIN MAX," *Seminar Nasional Informatika (SEMNASIF)*, vol. 1, no. 1, pp. 405–414, 2020.
- [10] D. P. Candra, "KLASIFIKASI SUARA DENGAN EKSTRAKSI CIRI MEL FREQUENCY CEPSTRAL COEFFICIENTS MENGGUNAKAN MACHINE LEARNING," UIN Syarif Hidayatullah, Jakarta, 2021.
- [11] R. Adawiyah and D. I. Mulyana, "Optimasi Deteksi Penyakit Kulit Menggunakan Metode Support Vector Machine (SVM) dan Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM)," *Optimasi Deteksi Penyakit Kulit Menggunakan Metode Support Vector Machine (SVM) dan Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM)*, vol. 14, no. 1, pp. 18–33, 2022.
- [12] A. V. Khlevniuk and V. B. Tymchyshyn, "Yet more simple SMO algorithm," 2020. doi: 10.13140/RG.2.2.36670.10562.
- [13] H. Sulistiani, K. Muludi, and A. Syarif, "Implementation of Dynamic Mutual Information and Support Vector Machine for Customer Loyalty Classification," *J Phys Conf Ser*, vol. 1338, no. 1, pp. 012–050, Oct. 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1338/1/012050.
- [14] R. G. J. Respati, "Identifikasi Emosi Melalui Suara Menggunakan Support Vector Machine Dan Convolutional Neural Network," Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, 2021.

This page is intentionally left blank.

Aplikasi Rekam Momen Guna Meningkatkan Kemampuan Mengingat Pengguna Dengan Pendekatan *User Centered Design* Berbasis Android

I Dewa Made Candra Wiguna Marcelino^{a1}, Ngurah Agus Sanjaya ERa^{a2}

^aProgram Studi Informatika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana
Badung, Bali, Indonesia

¹dewacandra37@gmail.com

²agus_sanjaya@unud.ac.id

Abstrak

Demensia ditandai oleh penurunan kognitif progresif yang mempengaruhi ingatan, regulasi emosi, kemampuan pemecahan masalah, dan keterampilan komunikasi. Meskipun penelitian terus dilakukan, belum ada obat pasti untuk demensia, yang menekankan pentingnya strategi preventif dan intervensi pendukung. Salah satu pendekatan efektif untuk mengurangi dampak demensia adalah dengan mendokumentasikan secara sistematis peristiwa dan aktivitas sehari-hari. Penerimaan luas smartphone di kalangan penduduk Indonesia telah memfasilitasi cara yang nyaman dan mudah diakses bagi individu untuk terlibat dalam praktik dokumentasi semacam itu di mana pun dan kapan pun. Oleh karena itu, pengembangan aplikasi seluler yang dirancang khusus untuk merekam dan menjaga momen penting dalam hidup merupakan inisiatif yang menjanjikan untuk mendukung individu yang berisiko mengalami demensia. Aplikasi ini bertujuan untuk mencatat dan mengorganisir peristiwa berkesan, mengelola tugas yang akan datang, dan menyimpan detail yang relevan tentang individu yang terlibat, dengan menerapkan prinsip-prinsip Desain Berbasis Pengguna (UCD) dan metodologi prototipe untuk desain dan pengembangannya. Dengan mengintegrasikan prinsip-prinsip UCD dan pengujian prototipe, aplikasi ini bertujuan untuk memastikan kegunaan dan efektivitasnya, dengan memenuhi kebutuhan dan preferensi khusus pengguna. Penelitian ini menyoroti potensi solusi berbasis teknologi dalam meningkatkan kualitas hidup dan manajemen kesehatan kognitif bagi populasi lanjut usia yang menghadapi risiko demensia di Indonesia dan di seluruh dunia.

.

Kata kunci: Demensia, Penurunan kognitif, Smartphone, Aplikasi Seluler, User-Centered Design(UCD)

1. Pendahuluan

Jumlah penduduk lanjut usia di dunia, termasuk Indonesia, terus meningkat seiring dengan kemajuan dalam bidang kesehatan dan teknologi yang memperpanjang angka harapan hidup. Peningkatan ini membawa dampak kesehatan yang signifikan, khususnya risiko penyakit degeneratif seperti demensia. Demensia, gangguan neurodegeneratif yang memengaruhi kognisi, kepribadian, dan fungsi sosial, dapat dialami oleh orang yang berusia di bawah 65 tahun, dikenal sebagai "demensia onset muda" (YOD). Diperkirakan ada lebih dari setengah juta orang di Amerika Serikat yang hidup dengan YOD, dengan prevalensi yang diperkirakan akan meningkat seiring bertambahnya usia generasi Baby Boomers.[1] Orang paruh baya dengan demensia menghadapi tantangan unik, seperti stres yang lebih tinggi karena kesadaran akan penurunan kognitif yang memengaruhi kehidupan sehari-hari dan masa depan mereka.[2]

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa aktivitas fisik dan dokumentasi kegiatan sehari-hari dapat membantu mencegah dan mengelola demensia. Misalnya, olahraga aerobik dapat mengurangi risiko demensia dengan meningkatkan aliran darah ke otak.[3] Selain itu,

mendokumentasikan kegiatan harian dapat memberikan struktur dan mengurangi kebingungan serta kecemasan pada penderita demensia.[4]

Adapun penelitian lain yang terkait menunjukkan perkembangan aplikasi yang mendukung pencegahan dan manajemen demensia. Misalnya, aplikasi "No-Pikun" yang dikembangkan oleh Feda Makkiyah dan timnya menggunakan kecerdasan buatan untuk edukasi dan penilaian status kognitif di negara berkembang.[5] Penelitian lain oleh Dea Jeany Lestari dari Universitas Palangka Raya mengembangkan aplikasi diary berbasis Android yang memudahkan pengguna mencatat mood, cerita harian, dan kata-kata motivasi, memberikan kemudahan dan efisiensi dalam mencatat momen penting.[6]

Dalam penelitian ini, tujuan utamanya adalah mengembangkan aplikasi berbasis smartphone untuk mendokumentasikan kegiatan sehari-hari pengguna, memberikan kemudahan dibandingkan metode konvensional. Aplikasi ini diharapkan dapat meningkatkan otonomi dan kesejahteraan emosional pengguna dengan memberikan struktur dan rutinitas harian. Metode yang digunakan adalah *User Centered Design* (UCD), yang menempatkan pengguna sebagai fokus utama dalam perancangan aplikasi. Metode ini bertujuan untuk memahami kebutuhan, perilaku, dan preferensi pengguna, sehingga menghasilkan solusi yang memenuhi kebutuhan mereka dengan baik.

2. Metode Penelitian

2.1 Metode User-Centered Design

User-Centered Design adalah pendekatan dalam desain produk atau sistem yang berfokus pada pengguna sebagai pusat perhatian utama selama seluruh proses pengembangan. Tujuan utama *User-Centered Design* adalah untuk menciptakan produk yang tidak hanya berfungsi dengan baik secara teknis, tetapi juga memenuhi kebutuhan, tujuan, dan preferensi pengguna akhirnya. [7]

2.1.1 *Plan the human process*

Tahap pertama dalam UCD adalah merencanakan proses pengembangan dengan memfokuskan pada kebutuhan dan preferensi pengguna. Ini melibatkan identifikasi sumber daya, anggaran, serta penjadwalan untuk memastikan bahwa seluruh proses berjalan efisien dan efektif:

2.1.2 *Specify the context of use*

Menentukan konteks penggunaan produk atau sistem. Ini mencakup identifikasi lingkungan di mana produk akan digunakan, karakteristik pengguna potensial (seperti kemampuan, preferensi, dan latar belakang), serta situasi atau kondisi yang mempengaruhi pengalaman pengguna.:

2.1.3 *Specify user and organisational requirements*

Setelah konteks penggunaan ditetapkan, tahap selanjutnya adalah menentukan kebutuhan yang harus dipenuhi oleh desain produk atau sistem. Kebutuhan ini mencakup fungsi produk, tampilan antarmuka pengguna (UI), respons sistem terhadap input pengguna, serta kinerja dan keandalan produk.

2.1.4 *Product Design Solutions*

Setelah kebutuhan ditetapkan, tim desain mengembangkan berbagai solusi desain yang memenuhi kebutuhan dan spesifikasi yang telah ditetapkan sebelumnya. Proses ini melibatkan pembuatan prototipe, sketsa, atau desain konseptual yang memungkinkan untuk pengujian lebih lanjut dan evaluasi oleh pengguna.

2.1.5 *Evaluate design against user requirements*

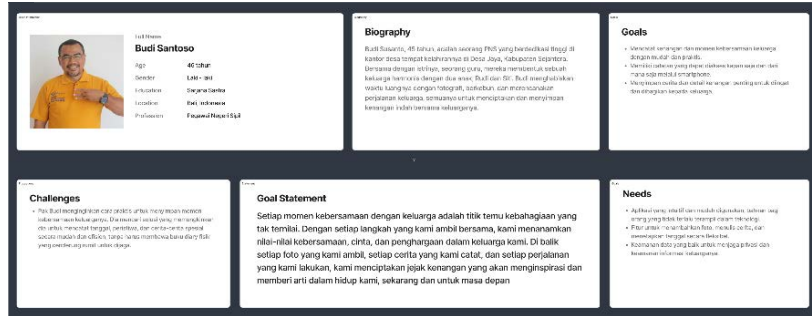
Tahap terakhir dalam UCD adalah mengevaluasi solusi desain yang telah dihasilkan untuk memastikan bahwa produk atau sistem memenuhi harapan pengguna. Evaluasi dilakukan dengan melibatkan pengguna potensial dalam uji coba, observasi langsung, atau sesi wawancara untuk mengumpulkan umpan balik yang dapat digunakan untuk melakukan perbaikan atau iterasi terhadap desain.

2.2 Perancangan Sistem

2.2.1 User Persona

User Persona ini didasarkan pada data dari wawancara dan *usability testing* yang para staff Kantor Desa Ungasan. Proses identifikasi ini menghasilkan User Persona yang mencerminkan profil target pengguna sistem, termasuk informasi tentang motivasi, tujuan,

dan tantangan yang mereka hadapi. Gambar dapat dilihat pada sketsa diagram pada gambar 1.

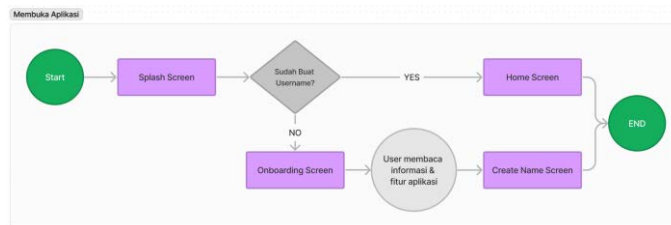


Gambar 1. User Persona

2.2.1 User Flow Aplikasi Rekam Momen

Pada tahap ini dilakukan perancangan User flow aplikasi rekam momen yang dirancang ulang memperlihatkan perjalanan pengguna yang mencakup perubahan dan juga fitur-fitur utama seperti menu beranda, tampilan buat diary, tampilan edit diary, diary favorit, dan kustomisasi bookmark. User flow ini disusun untuk meningkatkan pengalaman pengguna dengan fokus pada kemudahan navigasi, interaksi intuitif, dan keterhubungan yang jelas antara berbagai bagian aplikasi.

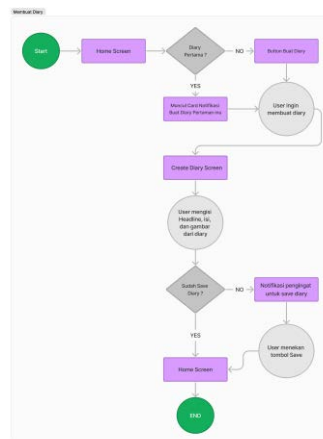
a. User Flow Profile Pengguna



Gambar 2. Ilustrasi User Flow Profile Pengguna

Perancangan *User Flow* aplikasi rekam momen yang dirancang ulang memperlihatkan perjalanan pengguna yang mencakup perubahan dan juga fitur-fitur utama seperti menu beranda, mood tracker, dan statistic record. *User Flow* ini disusun untuk meningkatkan pengalaman pengguna dengan fokus pada kemudahan navigasi, interaksi intuitif, dan keterhubungan yang jelas antara berbagai bagian aplikasi.

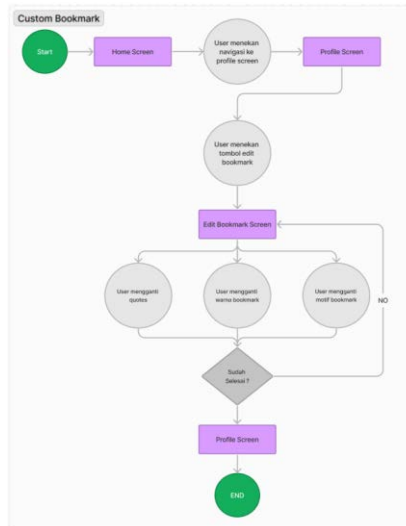
b. User Flow Profile Pengguna



Gambar 3. Ilustrasi User Flow Membuat Diary

User flow pada gambar 3 menggambarkan alur dalam pembuatan sebuah diary atau memori dari seorang pengguna. Dalam prosesnya, dari tampilan home kemudian pengguna akan menekan tombol membuat diary, lalu pengguna akan diarahkan pada tampilan pop up pemilihan tanggal, apakah pengguna akan mengisi memori untuk hari ini atau hari yang sudah lampau.

c. *User Flow Profile* Pengguna

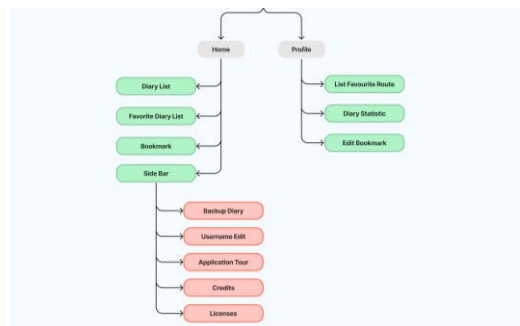


Gambar 4. Ilustrasi *User Flow* Kustomisasi *Bookmark*

User flow pada gambar 4 merupakan alur dalam mengedit *bookmark* sesuai dengan preferensi pengguna. Fungsi *bookmark* dibuat untuk memberikan kesan personal sesuai dengan apa yang salah satu respondem inginkan. Nantinya *bookmark* ini akan ditampilkan pada menu home, untuk melakukan kustomisasinya sendiri akan dilakukan di menu profile dimana pengguna bisa mengganti pola, warna, dan warna aksen dari *bookmark*.

2.2.1 User Flow Aplikasi Rekam Momen

Pada tahap ini, dilakukan struktur dari aplikasi yaitu *information architecture* (IA). IA adalah tahap yang berkaitan dengan pengorganisasian dan penataan informasi dalam suatu sistem agar mudah diakses dan digunakan. IA melibatkan penyusunan struktur konten, pembuatan skema navigasi, dan pengaturan hierarki informasi. Manfaat dari *Information Architecture* sangat signifikan, terutama dalam meningkatkan pengalaman pengguna. Dengan struktur informasi yang jelas dan logis, pengguna dapat menghemat waktu dan usaha dalam mencari informasi yang mereka butuhkan.



Gambar 5. *Information Architecture* Aplikasi

3. Hasil dan Pembahasan

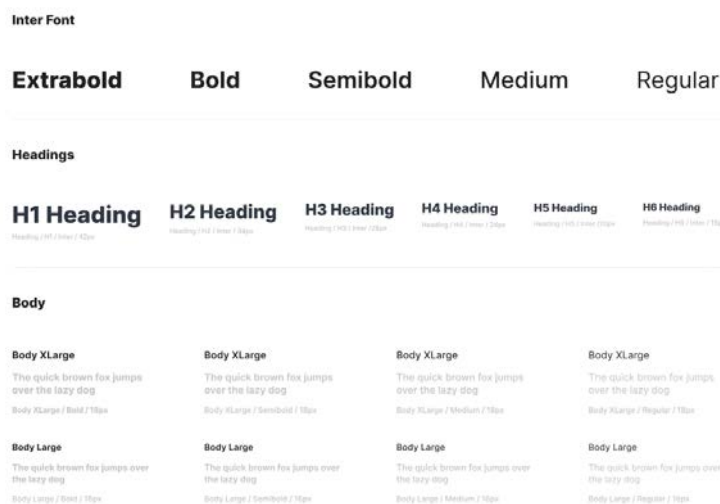
3.1 Hasil Pembuatan Desain Sistem

Pembuatan desain sistem dilakukan guna meningkatkan konsisten pada desain antarmuka seperti pada penggunaan warna dan font, efisiensi dalam pengembangan, serta meningkatkan pengalaman pengguna dengan menyediakan panduan dan aturan desain yang jelas



Gambar 6 Sistem Warna Aplikasi

Aplikasi ini menggunakan warna monokrom sebagai warna khas mempertahankan warna netral atau monokrom sebagai *primary color* dapat membantu memudahkan pengguna untuk menyerap informasi. Selain itu aplikasi rekam momen menggunakan warna aksen merah muda, hijau, dan biru sebagai kesan ramah dan dapat membawa rasa tenang kepada pengguna aplikasi rekam momen.



Gambar 7 Sistem *Typograhpy* Aplikasi

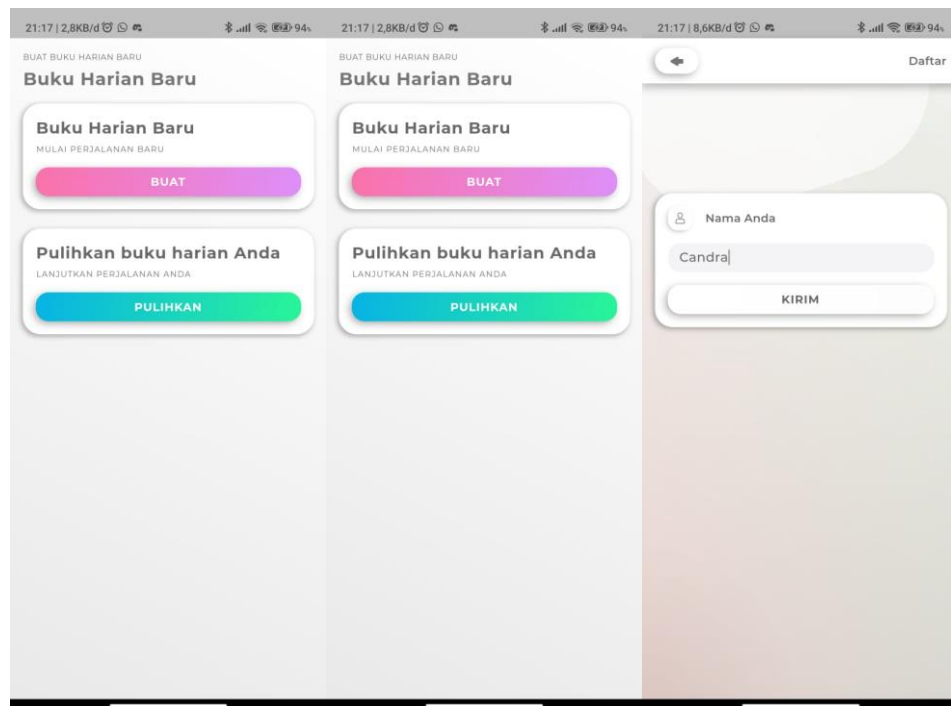
Pemilihan *font* merupakan keputusan desain yang signifikan, dan Inter yang ditunjukkan pada gambar dapat memberikan kombinasi antara keterbacaan, modernitas, dan fleksibilitas yang diinginkan. Selain itu *font* ini open source dan mendapatkan dukungan

aktif dan pembaruan dari pengembangnya cenderung memberikan kestabilan dan keandalan yang baik

3.2 Hasil Rancangan Antarmuka

A. Halaman Onboarding

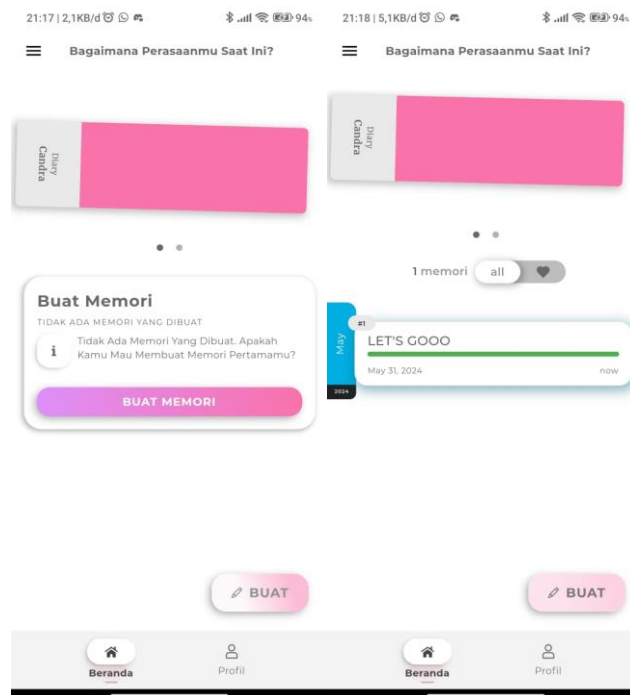
Pembuatan Halaman *Onboarding* pada *aplikasi rekam momen* merupakan halaman utama yang disuguhkan pada saat pengguna membuka aplikasi pada pertama kali sebelum mengisi nama profil pengguna. Disini pengguna akan mengisi nama serta pilihan apakah sudah pernah menggunakan aplikasi ini sebelumnya, jika sudah maka pengguna bisa melakukan *backup* dengan melakukan *import file save* pada *smartphone* pengguna.



Gambar 8 Tampilan Antarmuka Halaman *Onboarding*

B. Halaman Home Screen

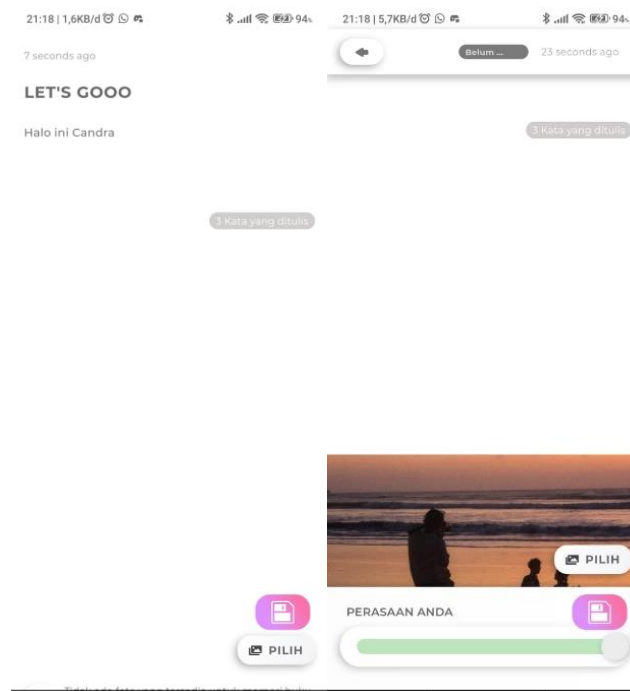
Home screen atau halaman beranda aplikasi menampilkan informasi dari diary serta menjadi halaman pertama yang akan muncul setelah mengisi nama profil. Setelah user mengisi diary, maka diary tersebut akan muncul pada home screen secara otomatis dan juga akan tersusun sesuai tanggal untuk memudahkan pengguna dalam melakukan sortir pada diary nantinya. Selain itu juga terdapat floating button yang muncul sebagai tombol utama dalam membuat sebuah diary baru. Selain itu juga terdapat *navigation bar* yang berguna untuk user berpindah dari layar beranda ke layar profil. Pada bagian samping kiri layar juga terdapat *hamburger bar* untuk akses menu dalam mengganti nama, melakukan backup, melakukan tur onboarding seperti pertama kali membuka aplikasi, dan menu menuju layar *credits* dari *developer*.



Gambar 9 Tampilan Antarmuka Halaman *Home*

C. Halaman *Create Diary*

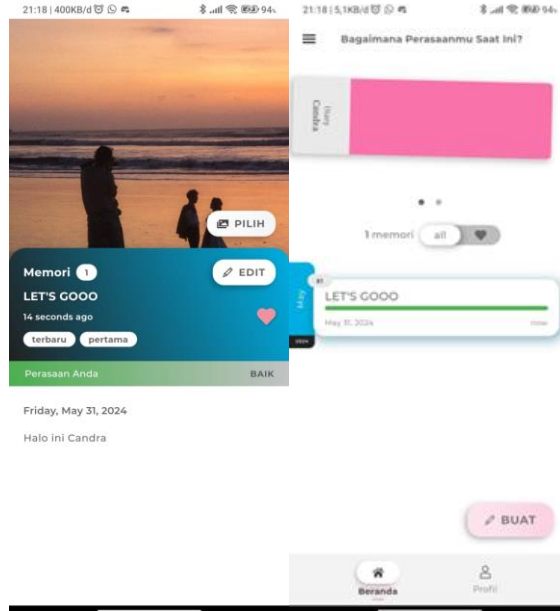
Create diary screen merupakan tampilan saat pengguna membuat sebuah diary atau momen yang baru saja terjadi maupun kejadian lampau. Pengguna akan diminta mengisi *headline*, *diary content*, serta foto yang akan ditampilkan nantinya pada halaman *diary detail*. Selain itu juga akan ada *warning action* saat pengguna lupa menekan tombol *save* yang berwarna gradasi cerah. Pewarnaan tombol *save* juga disengaja agar terlihat lebih menonjol dari tombol lainnya.



Gambar 10 Tampilan Antarmuka Halaman *Create Diary*

D. Halaman Detail Screen

Detail screen berisi konten informasi dari *diary* yang sudah dibuat. Tampilan yang dapat dilihat pada gambar dibawah menunjukkan segala informasi yang diperlukan seperti tanggal dibuatnya *diary*, *mood* pengguna, dan juga konten dari diary itu sendiri.



Gambar 11 Tampilan Antarmuka *Detail Screen*

E. Halaman Profile dan Kustomisasi

Gambar dibawah merupakan tampilan layar profil dan juga kostumasi bookmark atau warna sampul dari pengguna. Pada halaman profil akan ada banyak informasi terkait perjalanan dari pengguna. Hal ini dibuat dikarenakan tujuan aplikasi ini dibuat adalah untuk mencegah resiko penggunanya terkena demensia, dengan pencegahan yaitu dihidarkannya statistik perjalanan dari pengguna dari awal menggunakan aplikasi hingga saat ini.



Gambar 12 Tampilan Antarmuka *Profile* dan Kustomisasi

3.3 Hasil Pengujian Usability Testing

A. Hasil Evaluasi Faktor *Learnability*

Pengujian usability dengan indikator *Learnability* terdapat 4 pertanyaan dengan 5 skala bobot nilai. Berikut akan ditampilkan pada tabel 1 dibawah:

Tabel 1. Hasil *Usability Testing Learnability*

| <i>Learnability</i> | | | | | |
|----------------------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| Kode Pertanyaan | STS | TS | RR | ST | SS |
| A1 | 0 | 0 | 2 | 15 | 15 |
| A2 | 0 | 0 | 6 | 13 | 13 |
| A3 | 0 | 0 | 7 | 11 | 14 |
| A4 | 0 | 0 | 6 | 10 | 16 |
| Total | 0 | 0 | 21 | 49 | 58 |

B. Hasil Evaluasi Faktor *Memorability*

Pengujian usability dengan indikator *Memorability* terdapat 3 pertanyaan dengan 5 skala bobot nilai. Berikut akan ditampilkan pada tabel 2 dibawah:

Tabel 2. Hasil *Usability Testing Memorability*

| <i>Memorability</i> | | | | | |
|----------------------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| Kode Pertanyaan | STS | TS | RR | ST | SS |
| B1 | 0 | 0 | 6 | 8 | 18 |
| B2 | 0 | 0 | 6 | 12 | 14 |
| B3 | 0 | 0 | 5 | 12 | 15 |
| Total | 0 | 0 | 17 | 32 | 47 |

C. Hasil Evaluasi Faktor *Efficiency*

Pengujian usability dengan indikator *Learnability* terdapat 4 pertanyaan dengan 5 skala bobot nilai. Berikut akan ditampilkan pada tabel 3 dibawah:

Tabel 3. Hasil *Usability Testing Efficiency*

| <i>Efficiency</i> | | | | | |
|--------------------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| Kode Pertanyaan | STS | TS | RR | ST | SS |
| C1 | 0 | 0 | 5 | 12 | 15 |
| C2 | 0 | 0 | 6 | 13 | 13 |
| C3 | 0 | 1 | 5 | 14 | 12 |
| C4 | 0 | 0 | 2 | 14 | 16 |
| Total | 0 | 1 | 18 | 53 | 56 |

D. Hasil Evaluasi Faktor *Error*

Pengujian usability dengan indikator *Error* terdapat 4 pertanyaan dengan 5 skala bobot nilai. Berikut akan ditampilkan pada tabel 4 dibawah:

Tabel 4. Hasil *Usability Testing Error*

| Error | | | | | |
|--------------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| Kode Pertanyaan | STS | TS | RR | ST | SS |
| D1 | 0 | 0 | 4 | 15 | 13 |
| D2 | 0 | 0 | 7 | 11 | 14 |
| D3 | 0 | 0 | 7 | 9 | 16 |
| D4 | 0 | 0 | 4 | 14 | 14 |
| Total | 0 | 0 | 22 | 49 | 57 |

E. Hasil Evaluasi Faktor *Satisfaction*

Pengujian usability dengan indikator *Satisfaction* terdapat 3 pertanyaan dengan 5 skala bobot nilai. Berikut akan ditampilkan pada tabel 5 dibawah:

Tabel 5. Hasil *Usability Testing Satisfaction*

| Satisfaction | | | | | |
|---------------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| Kode Pertanyaan | STS | TS | RR | ST | SS |
| E1 | 0 | 0 | 4 | 12 | 16 |
| E2 | 0 | 0 | 4 | 14 | 14 |
| E3 | 0 | 0 | 3 | 18 | 11 |
| Total | 0 | 0 | 11 | 44 | 41 |

F. Rumus dan Pembobotan Nilai

Untuk merumuskan nilai simpulan dari hasil pengukuran indikator tersebut, dilakukan pembobotan nilai berdasarkan setiap poin dari 5 skala likert dan perhitungan untuk mencari persentase nilai Usability-nya sebagai berikut:

Tabel 6 Bobot Nilai Skala Likert

| Keterangan | Bobot Nilai |
|---------------------------|-------------|
| Sangat Tidak Setuju (STS) | 1 |
| Tidak Setuju (TS) | 2 |
| Ragu-Ragu (RR) | 3 |
| Setuju (S) | 4 |
| Sangat Setuju (SS) | 5 |

$$\text{Nilai Presentase} = \frac{(\text{Nilai} \times \text{Bobot Nilai})}{\text{Bobot Nilai Maksimum}} \times 100$$

Gambar 13 Perhitungan Nilai Presentase Usability Testing

G. Hasil Presentasi Nilai Usability Testing

Pada pengujian *usability* aplikasi setelah dilakukan *redesign*, peneliti menggunakan metode evaluasi yang melibatkan 32 responden yang sama seperti pengujian dan evaluasi *usability* sebelumnya guna mengetahui analisis perbandingan nilai *usability* aplikasi rekam momen, apakah setelah dilakukan perbaikan dan perancangan ulang sudah aplikasi dapat sesuai dengan kebutuhan pengguna atau belum. Metode pengujian dilakukan berdasarkan lima indikator utama, yaitu *Learnability*, *Memorability*, *Efficiency Error*, dan *Satisfaction*. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 3.7 Hasil Nilai Presentasi Usability Testing

| Indikator | Kode Pertanyaan | Presentase Sebelum Redesign | Presentase Sesudah Redesign | Kriteria |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------|
| <i>Learnability</i> | A1 | 61.33% | 88,12% | Sangat Baik |
| | A2 | 55.33% | 84,37% | Sangat Baik |
| | A3 | 62.66% | 84,37% | Sangat Baik |
| | A4 | 65.33% | 86,25% | Sangat Baik |
| <i>Memorability</i> | B1 | 27.33% | 87,50% | Sangat Baik |
| | B2 | 64.66% | 85,00% | Sangat Baik |
| | B3 | 56.66% | 86,25% | Sangat Baik |
| <i>Efficiency</i> | C1 | 63.33% | 86,25% | Sangat Baik |
| | C2 | 61.33% | 84,37% | Baik |
| | C3 | 57.33% | 83,12% | Sangat Baik |
| | C4 | 65.33% | 88,75% | Sangat Baik |
| <i>Error</i> | D1 | 61.33% | 85,62% | Sangat Baik |
| | D2 | 58.66% | 84,37% | Sangat Baik |
| | D3 | 58.66% | 85,62% | Sangat Baik |
| | D4 | 61.33% | 86,25% | Sangat Baik |
| <i>Satisfaction</i> | E1 | 59.33% | 87,50% | Sangat Baik |
| | E2 | 61.33% | 86,25% | Sangat Baik |
| | E3 | 57.33% | 85,00% | Sangat Baik |
| Rata – Rata keseluruhan | | | 85.21% | Sangat Baik |

Berdasarkan hasil pengujian kegunaan (*usability testing*) terhadap aplikasi Anda, terdapat peningkatan yang signifikan setelah dilakukan *redesign*. Sebelum *redesign*, skor *usability* aplikasi adalah 59.65%, yang dikategorikan sebagai "Cukup Baik". Skor ini menunjukkan bahwa aplikasi memiliki tingkat kegunaan yang memadai, namun pengguna masih mengalami beberapa kendala. Misalnya, beberapa fitur mungkin tidak intuitif, antarmuka pengguna bisa membingungkan, atau alur navigasi yang tidak efisien, sehingga pengguna merasa kesulitan dalam menyelesaikan tugas-tugas mereka.

Setelah dilakukan *redesign*, skor *usability* meningkat drastis menjadi 85.21%, yang dikategorikan sebagai "Sangat Baik". Peningkatan ini mencerminkan bahwa perubahan

yang dilakukan pada aplikasi berhasil mengatasi berbagai kendala yang sebelumnya dihadapi oleh pengguna. *Redesign* ini mungkin meliputi perbaikan pada antarmuka pengguna sehingga lebih intuitif, penyederhanaan alur navigasi, peningkatan responsivitas, serta penambahan fitur-fitur yang memudahkan pengguna dalam menjalankan aplikasi.

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

Metode *User-Centered Design* terbukti efektif dalam mencapai tingkat *usability* yang diinginkan pada aplikasi ini. Hasil dari *usability testing* menunjukkan bahwa aplikasi ini mencapai skor 85,21% yang dimana hasil *usability testing* meningkat dengan aplikasi sebelumnya yaitu 56,66% ,hal ini menandakan bahwa hasil *redesign* sangat baik dalam mendukung pengguna untuk menggunakan aplikasi dengan nyaman dan efisien. Langkah-langkah seperti wawancara, evaluasi aplikasi sebelum *redesign*, dan analisis kebutuhan pengguna, serta iterasi desain berdasarkan umpan balik pengguna, secara jelas berkontribusi pada kesuksesan ini. Metode ini tidak hanya meningkatkan *usability* tetapi juga memastikan bahwa aplikasi dapat diadopsi dengan baik oleh pengguna target.

References

- [1] Alzheimer's Association. (2010). 2010 Alzheimer's Disease Facts and Figures. Chicago: Alzheimer's Association.
- [2] Werner, P., Mittelman, M. S., Goldstein, D., & Heinik, J. (2012). Family stigma and caregiver burden in Alzheimer's disease. *The Gerontologist*, 52(1), 89-97.
- [3] Blondell, S. J., Hammersley-Mather, R., & Veerman, J. L. (2014). Does physical activity prevent cognitive decline and dementia?: A systematic review and meta-analysis of longitudinal studies. *BMC Public Health*, 14, 510.
- [4] Chaudhuri, A. and Behan, P.O. (2000) Fatigue and Basal Ganglia. *Journal of the Neurological Sciences*, 179, 34-42. [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-510X\(00\)00411-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-510X(00)00411-1)
- [5] Makkiah, F., Ilmi, P. N., & Apriningsih, A. (2023). PENERAPAN TEKNOLOGI APLIKASI "NO-PIKUN" DALAM SCREENING DIMENSAI. In *Prosiding Seminar Nasional Pengabdian Kepada Masyarakat* (Vol. 1, No. 1).
- [6] Lestari, D. J. (2022). Rancangan Pembangunan Aplikasi Diary Berbasis Android. *Jurnal Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya*. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/360796570>
- [7] Norman, D. A., & Draper, S. W. (1986). *User Centered System Design: New Perspectives on Human-Computer Interaction*. Lawrence Erlbaum Associates.

Optimalisasi Keamanan Data Digital melalui Kombinasi Metode AES dan *Bit-Plane Complexity Segmentation*

Luh Gede Tresna Dewi^{a1}, Ngurah Agus Sanjaya ER^{a2}, I Komang Ari Mogi^{a3}, I Gede Surya Rahayuda^{a4}

^aProgram Studi Informatika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana
Badung, Bali, Indonesia

¹trsdewi37@gmail.com@email.com

²agus_sanjaya@unud.ac.id

³arimogi@unud.ac.id

⁴igedesuryarahayuda@unud.ac.id

Abstrak

Di era digital informasi yang dipertukarkan melalui media digital sering kali bersifat sensitif dan dapat menimbulkan dampak serius jika jatuh ke tangan yang salah. Oleh karena itu, memastikan keamanan informasi adalah hal yang sangat penting. Salah satu metode yang banyak digunakan untuk melindungi informasi adalah kriptografi. Meskipun kriptografi memberikan tingkat keamanan yang tinggi, ada kelemahan dimana pesan terenkripsi masih dapat terlihat dan memicu kecurigaan pihak yang tidak berwenang. Untuk mengatasi kelemahan ini, steganografi digunakan sebagai solusi alternatif. Penelitian ini mengamankan data digital dengan mengkombinasikan metode kriptografi Advanced Encryption Standard (AES) dan steganografi Bit-Plane Complexity Segmentation (BPCS). Pesan teks dienkripsi menggunakan algoritma AES-128 bit, kemudian disisipkan ke dalam gambar melalui algoritma steganografi BPCS. Pengujian menunjukkan bahwa gambar hasil steganografi (stego image) memiliki kualitas visual tinggi dengan rata-rata nilai Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) sebesar 76,768 dB dan Mean Square Error (MSE) rendah antara 0,00001 hingga 0,00271, yang mengindikasikan perubahan minimal pada gambar asli. Tingkat Avalanche effect (AE) dari algoritma AES-128 bit bervariasi antara 46,48% hingga 55,08%, dengan rata-rata keseluruhan 50,31%, menunjukkan respons yang baik terhadap perubahan kunci. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi metode AES dan BPCS efektif dalam mengamankan data dan menjaga kualitas visual media digital.

Kata kunci: Keamanan Data, Kriptografi, Steganografi, Advanced Encryption Standard, Bit-Plane Complexity Segmentation

1. Pendahuluan

Di era digital yang terus berkembang, pertukaran informasi telah menjadi bagian tak terpisahkan dari aktivitas sehari-hari. Media digital memungkinkan pertukaran informasi menjadi lebih cepat, lebih mudah, dan lebih luas dalam cakupannya. Namun, kemudahan ini juga menimbulkan tantangan baru terkait keamanan informasi. Informasi yang dipertukarkan melalui media digital sering kali bersifat sensitif dan dapat memiliki dampak signifikan jika jatuh ke tangan yang salah. Oleh karena itu, penting untuk memastikan bahwa informasi tersebut diamankan dengan baik selama proses pertukaran. Permasalahan utama yang dihadapi dalam pertukaran informasi digital adalah bagaimana memastikan informasi tetap aman dan tidak dapat diakses oleh pihak yang tidak berwenang. Salah satu pendekatan yang umum digunakan untuk menjaga keamanan informasi adalah melalui penggunaan metode kriptografi. Kriptografi merupakan ilmu yang mempelajari teknik matematika yang berhubungan dengan aspek keamanan informasi seperti kerahasiaan, integritas data, serta otentikasi [1]. Namun, meskipun pesan telah dienkripsi dengan kriptografi, keberadaannya masih terlihat dan dapat menimbulkan kecurigaan dari pihak

yang tidak berwenang. Untuk mengatasi masalah ini, steganografi digunakan sebagai metode tambahan. Steganografi merupakan teknik penyembunyian pesan yang memanfaatkan kekurangan sistem indera manusia seperti mata (*human visual system*) dan telinga (*human auditory system*) [2]. Pada steganografi informasi disembunyikan dalam media lain sehingga keberadaan informasi tersebut tidak terlihat. Dengan menggunakan kriptografi dan steganografi bersama-sama, diharapkan tingkat keamanan informasi dapat ditingkatkan secara signifikan.

Pada penelitian terdahulu telah digunakan metode RSA bersama dengan teknik *Bit-Plane Complexity Segmentation* (BPCS) untuk menyisipkan informasi rahasia ke dalam gambar. Metode ini memanfaatkan kemampuan RSA dalam mengenkripsi data dan kapasitas penyisipan BPCS yang tinggi. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa kombinasi kedua metode ini berhasil meningkatkan keamanan informasi. Namun, kelemahan yang ditemukan adalah kompleksitas perhitungan dan kebutuhan sumber daya yang tinggi saat menggunakan RSA. Untuk mengatasi kelemahan tersebut, penelitian ini memilih untuk menggunakan algoritma *Advanced Encryption Standard* (AES) sebagai pengganti RSA. AES merupakan algoritma kriptografi simetris yang artinya kunci enkripsi sama dengan kunci dekripsi sehingga dalam prosesnya tidak membutuhkan sumber daya yang besar. Berdasarkan hasil pada penelitian terdahulu waktu yang dibutuhkan untuk proses enkripsi menggunakan algoritma AES dibuktikan lebih cepat dibandingkan RSA [3]. Metode *Bit-Plane Complexity Segmentation* (BPCS) tetap digunakan dalam penelitian ini karena kemampuan penyisipan data yang tinggi dan kehandalannya dalam menyembunyikan data dalam gambar. Kombinasi antara AES dan BPCS diharapkan dapat menciptakan sistem yang lebih efisien dalam melindungi informasi sensitif selama pertukaran digital. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan mengoptimalkan kombinasi AES dan BPCS sehingga dapat menghasilkan sistem perlindungan informasi yang lebih baik.

2. Metode Penelitian

2.1 Data dan Metode Pengumpulan Data

- a. Data gambar yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari dataset publik yang tersedia di platform Kaggle. Dataset tersebut berisi gambar-gambar yang diambil dalam berbagai kondisi dan situasi pencahayaan. Gambar yang digunakan dalam penelitian ini adalah gambar dengan format .png. Setiap gambar dalam dataset ini telah dipilih untuk memastikan keberagaman dan representativitas dari berbagai kondisi.
- b. Data *plaintext* terdiri dari teks dalam format .txt yang dibuat secara acak. Masing-masing data *plaintext* akan disisipkan ke dalam gambar.
- c. Data kunci enkripsi terdiri dari kunci yang juga dibuat secara acak. Setiap kunci enkripsi memiliki panjang tetap yaitu 128-bit dan digunakan untuk mengenkripsi masing-masing teks *plaintext*.

2.2 Analisis Kebutuhan

Analisis kebutuhan merupakan proses penentuan kebutuhan atau kondisi yang harus dipenuhi dalam merancang dan membangun aplikasi penyisipan pesan pada gambar menggunakan algoritma *Advanced Encryption Standard* dan *Bit-Plane Complexity Segmentation*.

a. Analisis Kebutuhan Masukan

Kebutuhan masukan dibagi menjadi masukan untuk proses embedding dan masukan untuk proses ekstraksi. Masing-masing proses memiliki kebutuhan berbeda sebagai berikut :

1. Proses Penyisipan

Sebelum proses penyisipan dilakukan, metode enkripsi AES (*Advanced Encryption Standard*) akan digunakan untuk mengamankan pesan rahasia sebelum disisipkan ke dalam data gambar. Setelah itu, data terenkripsi akan disisipkan ke dalam gambar yang diambil dari dataset Kaggle. Gambar yang digunakan berasal dari berbagai kondisi dan situasi pencahayaan, dengan gambar dalam format .png.

2. Proses Ekstraksi

Algoritma steganografi yang dikembangkan dalam penelitian ini akan digunakan untuk mengekstrak pesan rahasia yang tersembunyi di dalam gambar. Setelah proses penyisipan selesai, gambar stego yang dihasilkan akan diproses dengan algoritma ekstraksi untuk mendapatkan kembali pesan rahasia yang telah disisipkan. Setelah berhasil diekstrak, pesan rahasia tersebut akan didekripsi menggunakan metode AES untuk mendapatkan pesan asli yang telah dienkripsi sebelumnya.

b. Analisis Kebutuhan Keluaran

Keluaran yang didapatkan dari masing masing proses diatas adalah sebagai berikut:

1. Gambar Stego

Gambar stego adalah file gambar yang diperoleh setelah proses penyisipan. Gambar ini menampung teks rahasia yang ingin disembunyikan oleh pengguna.

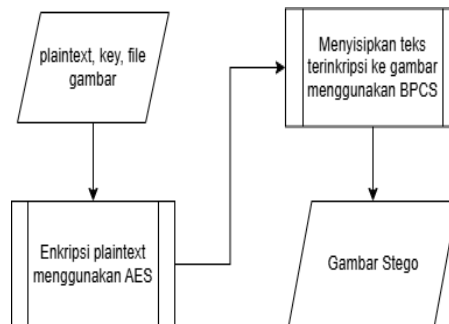
2. Teks Rahasia

Teks rahasia adalah hasil keluaran dari proses extracting pada gambar stego. Teks rahasia merupakan file teks yang disembunyikan pada gambar dan dikembalikan ke bentuk aslinya setelah proses dekripsi.

2.3 Perancangan Sistem

a. Alur Penyisipan Teks

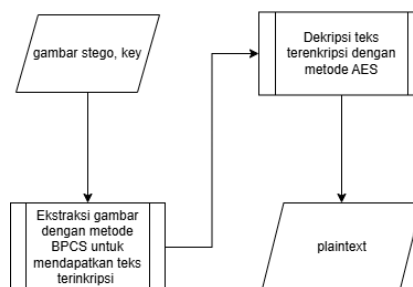
Langkah-langkah penyisipan pesan ke dalam gambar dapat dilihat pada sketsa diagram pada gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi Proses Penyisipan Teks

Proses penyisipan diawali dengan memasukkan file *plaintext*, file gambar, dan kunci enkripsi. Berikutnya sistem akan melakukan enkripsi pada *plaintext* menggunakan algoritma AES-128. Selanjutnya, pesan yang dienkripsi (chiphertext) disisipkan ke dalam gambar.

b. Alur Ekstraksi Gambar Stego

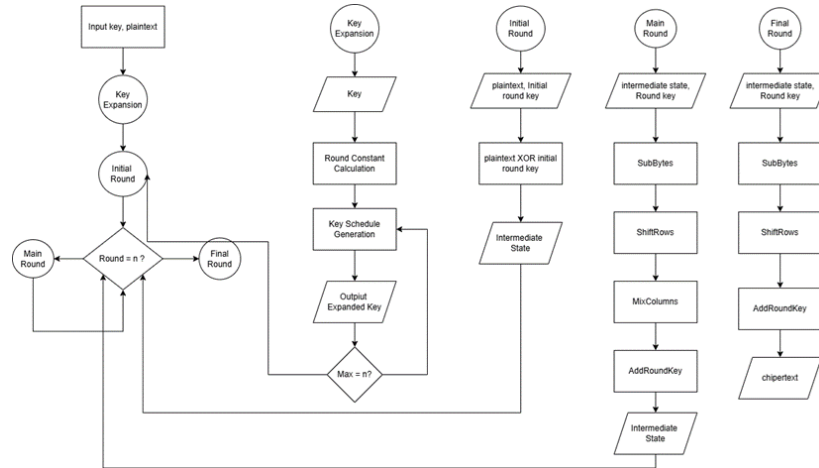


Gambar 2. Ilustrasi Proses Ekstraksi Gambar Stego

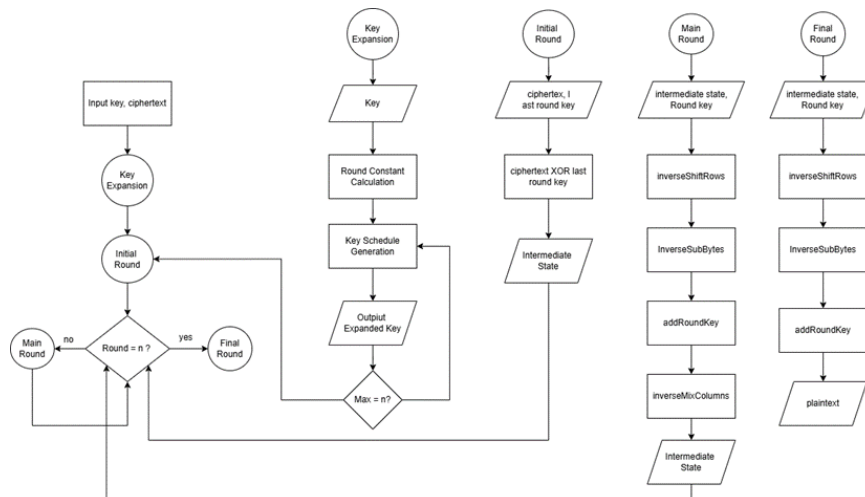
Proses ekstraksi diawali dengan memasukkan gambar stego dan kunci dekripsi yang sama dengan kunci enkripsi. Berikutnya sistem akan melakukan ekstraksi chipertext pada file gambar. Setelahnya akan dilakukan dekripsi chipertext menggunakan algoritma AES-128, maka akan dihasilkan *plaintext*. Langkah-langkah penyisipan pesan ke dalam gambar dapat dilihat pada sketsa diagram pada gambar 2.

c. Alur Algoritma *Advanced Encryption Standard*

Algoritma *Advanced Encryption Standard* (AES) adalah algoritma enkripsi simetris. Panjang kunci yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 128-bit. Kunci tersebut digunakan untuk proses enkripsi dan dekripsi. Alur Enkripsi algoritma AES-128bit dapat dilihat pada gambar 3 dan Alur dekripsi dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 3. Alur Enkripsi Algoritma AES



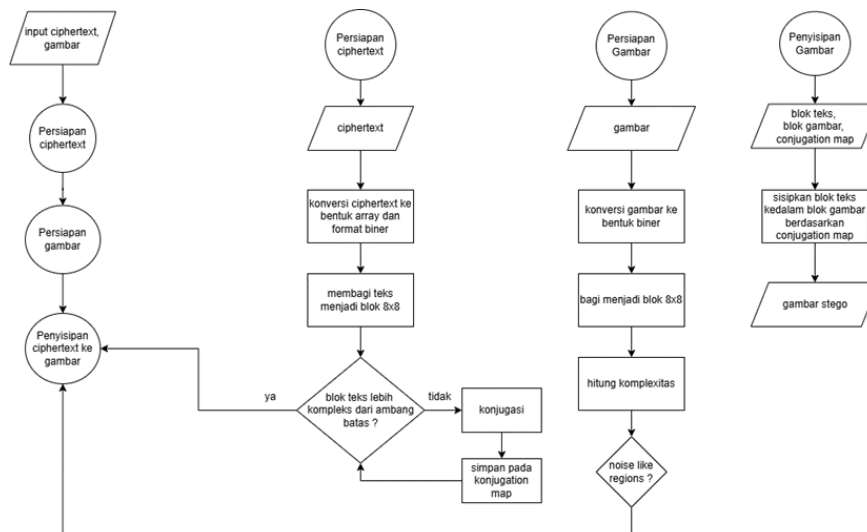
Gambar 1 Alur Dekripsi Algoritma AES

Kunci algoritma AES didapatkan melalui proses inisialisasi dan pengelompokan kunci, yang melibatkan penggunaan kunci awal yang diberikan dan langkah-langkah tambahan untuk menghasilkan kunci tambahan yang akan digunakan dalam setiap putaran algoritma AES. Proses enkripsi algoritma AES terdiri dari 4 jenis transformasi bytes, yaitu *SubBytes*, *ShiftRows*, *MixColumns*, dan *AddRoundKey*. Pada awal proses enkripsi, input yang telah disalin ke dalam state akan mengalami transformasi byte *AddRoundKey*. Setelah itu, state akan mengalami transformasi *SubBytes*, *ShiftRows*, *MixColumns*, dan *AddRoundKey* secara berulang-ulang sebanyak *Nr*. Proses ini dalam algoritma AES disebut sebagai round function. Round yang terakhir agak berbeda dengan round-round sebelumnya dimana pada round terakhir, state tidak mengalami transformasi

MixColumns. Sedangkan untuk proses dekripsi untuk mendapatkan kembali teks yang telah dienkripsi maka proses dilakukan secara terbalik dari proses enkripsi.

d. Alur Algoritma *Bit-Plane Complexity Segmentation*

Algoritma BPCS (*Bit-Plane Complexity Segmentation*) adalah salah satu metode dalam steganografi, yaitu teknik menyembunyikan informasi dalam media digital. Algoritma ini bekerja dengan menyisipkan pesan rahasia ke dalam gambar digital dengan memanfaatkan kompleksitas bit-plane dari gambar tersebut. Bit-plane dalam gambar digital mengacu pada lapisan data biner yang mewakili setiap bit dari nilai piksel gambar. Alur proses penyisipan dari algoritma *Bit-Plane Complexity Segmentation* dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 2. Alur Penyisipan Algoritma BPCS

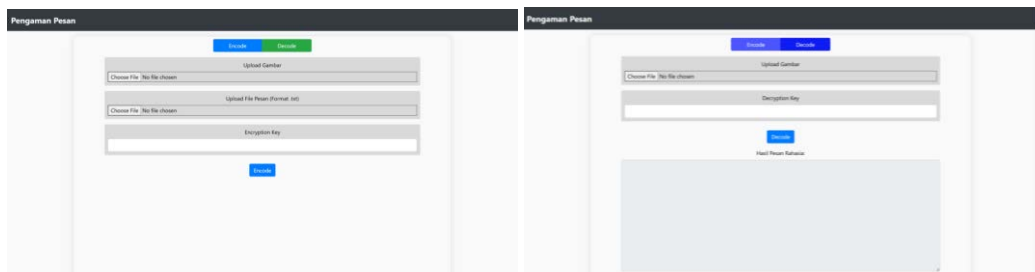
1. Gambar yang akan disisipi data dibaca dan dikonversi menjadi array numpy dan teks rahasia yang akan disisipi juga dibaca dan dikonversi menjadi array numpy dengan menambahkan padding agar ukuran sesuai.
2. Setiap piksel dalam gambar dikonversi ke representasi biner (*bit-plane*). Dalam bit-plane, setiap bit dari nilai piksel diubah menjadi satu bidang terpisah.
3. Bit-plane yang telah dibuat kemudian diubah dari mode *Plain Binary Code* (PBC) menjadi *Canonical Gray Code* (CGC). Hal ini dilakukan untuk meningkatkan daya tahan terhadap perubahan pada gambar.
4. Bit-plane dibagi menjadi blok-blok kecil sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan. Yaitu, blok-blok berukuran 8x8 piksel.
5. Kompleksitas setiap blok dalam bit-plane dihitung. Kompleksitas ini diukur berdasarkan jumlah transisi bit 0 ke 1 dan 1 ke 0 di dalam blok.
6. Ambang batas kompleksitas ditentukan yaitu 4,5. Blok dengan kompleksitas di bawah ambang batas ini dianggap sebagai area "*noise-like*" dan cocok untuk penyisipan data.
7. Blok-blok dengan kompleksitas di bawah ambang batas diubah (dikonjugasi) untuk meningkatkan kompleksitasnya. Ini dilakukan untuk memastikan bahwa blok-blok yang akan disisipi data terlihat seperti "*noise*".
8. Pesan rahasia dibagi menjadi blok-blok yang sesuai ukuran. Blok-blok pesan ini kemudian disisipi ke dalam blok-blok gambar yang telah dipilih berdasarkan kompleksitasnya. Jika blok yang akan disisipi memiliki kompleksitas di bawah ambang batas, blok ini dikonjugasi sebelum disisipi data.

9. Setelah data disisipkan, bit-plane diubah kembali dari CGC ke PBC. Bit-plane yang telah dimodifikasi digabungkan kembali menjadi array gambar asli.

Untuk mendapatkan kembali data yang telah disisipkan maka perlu dilakukan ekstraksi. Alur proses ekstraksi dari algoritma *Bit-Plane Complexity Segmentation* yaitu:

1. Gambar yang telah disisipi data dibaca dan dikonversi menjadi array numpy.
 2. Gambar yang telah disisipi data dikonversi kembali menjadi *bit-plane*.
 3. Bit-plane diubah dari mode CGC kembali ke mode PBC.
 4. Bit-plane dibagi menjadi blok-blok kecil sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan.
 5. Blok-blok yang telah disisipi data diidentifikasi berdasarkan kompleksitasnya. Jika blok tersebut dikongjugasi selama penyisipan, maka blok tersebut harus didekongjugasi.
 6. Data rahasia diekstraksi dari blok-blok yang sesuai. Data yang diekstraksi kemudian digabungkan untuk membentuk pesan rahasia asli.
 7. Padding yang ditambahkan selama penyisipan data dihapus untuk mendapatkan pesan asli tanpa tambahan data.
- e. Perancangan Desain Antarmuka Sistem

Perancangan desain antarmuka adalah suatu proses untuk mendesain tampilan antarmuka untuk pengguna. Proses ini bertujuan untuk membuat interaksi pengguna dan sistem sesederhana dan seefisien mungkin untuk mencapai tujuan pengguna. Dalam penelitian ini, perancangan desain antarmuka menggunakan 1 halaman dengan 2 menu yaitu menu *encode* dan menu *decode*.



Gambar 3. Rancangan Halaman Website

Pada menu *encode* terdapat sebuah kolom untuk input file gambar yang akan dijadikan sebagai cover image, lalu terdapat pula kolom untuk input file teks berupa teks yang akan disisipkan kedalam gambar cover, lalu terdapat kolom untuk memasukkan kunci enkripsi, kunci enkripsi akan digunakan kembali pada proses dekripsi untuk mendapatkan kembali teks yang telah dienkripsi. Selain halaman *encode*, terdapat juga halaman *decode* yang berfungsi untuk mendapatkan kembali teks yang telah disisipkan pada gambar. Pada halaman *decode* terdapat kolom untuk memasukkan gambar stego yang didapatkan dari proses *encode*, lalu terdapat kolom untuk memasukkan kunci dekripsi, lalu terdapat kolom untuk menampilkan teks yang sudah didapatkan kembali dari gambar stego. Rancangan halaman website dapat dilihat pada gambar 6.

2.4 Pengujian Sistem

a. Pengujian *Avalanche effect*

Untuk mengetahui ketahanan hasil enkripsi terhadap serangan kriptanalisis perlu dilakukan pengujian terhadap *ciphertext* hasil enkripsi. Pengujian yang dilakukan yaitu menilai *Avalanche effect* dari hasil enkripsi. Perhitungan nilai *Avalanche effect* dilakukan dengan menghitung jumlah bit yang berubah pada *ciphertext* ketika satu bit kunci diubah. Langkah - langkah pengujian yang dilakukan yaitu :

1. Melakukan enkripsi terhadap *plaintext* dengan menggunakan kunci enkripsi pertama hingga menghasilkan *ciphertext* pertama.

2. Melakukan enkripsi terhadap *plaintext* yang sama dengan sebelumnya namun kunci enkripsi yang digunakan diubah 1 bitnya hingga menghasilkan *ciphertext* kedua.
3. Melakukan perhitungan jumlah bit yang berubah dengan membandingkan *ciphertext* pertama dan *ciphertext* kedua.
4. Melakukan perhitungan *Avalanche effect* dengan rumus :

$$\text{Avalanche effect} = \frac{\text{Jumlah bit ciphertext yang berubah}}{\text{total bit pada ciphertext}} \times 100\% \quad (1)$$

Dengan rumus tersebut, semakin tinggi persentase perubahan bit *ciphertext*. Pengujian *Avalanche effect* dianggap baik apabila terjadi perubahan bit yang menunjukkan antara 45-60% (50% adalah hasil yang dianggap baik dalam pengujian) [4].

b. Pengujian MSE dan PSNR

Untuk mengetahui kualitas dari penyisipan yang dilakukan, dilakukan uji Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) dan *Mean Square Error* (MSE) untuk mengetahui seberapa besar error dan penurunan kualitas media penampung. MSE adalah nilai error kuadrat rata-rata antara citra asli dengan citra asli dan dekripsi. Sedangkan PSNR adalah perbandingan antara nilai maksimum dari kualitas citra asli dan citra yang sudah mengalami proses dekripsi. Adapun langkah-langkah pengujian nilai PSNR dan MSE adalah sebagai berikut.

1. Input foto asli dan foto-stego.
2. Proses penghitungan nilai *Mean Square Error* (MSE). Secara teori, nilai MSE dapat dihitung dengan rumus :

$$\text{MSE} = \frac{1}{N \times M} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} (I_{(ij)} - K_{(ij)})^2 \quad (2)$$

3. Proses penghitungan nilai Peak Signal to Noise Ratio (PSNR). Secara teori, nilai PSNR dapat dihitung dengan rumus :

$$\text{PSNR} = 10 \log_{10} \left(\frac{\text{MAX}^2}{\text{MSE}} \right) \quad (3)$$

4. Output berupa nilai MSE dan nilai PSNR.

Algoritma steganografi yang baik berdasarkan kualitas citra adalah yang memiliki nilai PSNR lebih dari 40db dan nilai MSE yang semakin mendekati angka 0 [5].

c. Pengujian Kinerja Sistem

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa sistem dalam hal kecepatan dan efektivitas dalam menyisipkan data dan mengekstraksi data. Evaluasi yang dilakukan yaitu mengukur kecepatan *Encode* dan *Decode* untuk mengetahui lama waktu yang dibutuhkan untuk menyisipkan *plaintext* ke dalam gambar (*Encode*) dan mengekstraksi teks rahasia dari gambar stego (*Decode*), selain itu dilakukan juga evaluasi integritas data dimana setelah proses *Encode* dan *Decode*, hasil *Decode* harus sama persis dengan *plaintext* yang disisipkan. Tidak boleh ada perubahan atau kehilangan informasi. Untuk mengetahui kinerja sistem dalam melakukan *Encode* dan *Decode* maka perlu untuk dilakukan pengujian terhadap sistem yang telah dibuat. Adapun langkah - langkah yang dilakukan dalam pengujian ini yaitu :

1. Memasukan File gambar yang akan digunakan sebagai media penyisipan.
2. Memasukan File *Plaintext* yang akan disisipkan.
3. Memasukan kunci yang akan digunakan untuk enkripsi lalu lakukan *Encode*.
4. Hitung waktu yang dibutuhkan sistem dalam melakukan *Encode*, lalu unduh gambar stego yang dihasilkan.
5. Lakukan *Decode* dengan memasukan file gambar stego yang telah diunduh dan kunci yang sama seperti kunci enkripsi yang telah digunakan untuk proses *Encode*.
6. Hitung waktu yang dibutuhkan sistem untuk melakukan proses *Decode*, lalu bandingkan apakah teks hasil *Decode* sesuai dengan *plaintext* awal yang disisipkan.

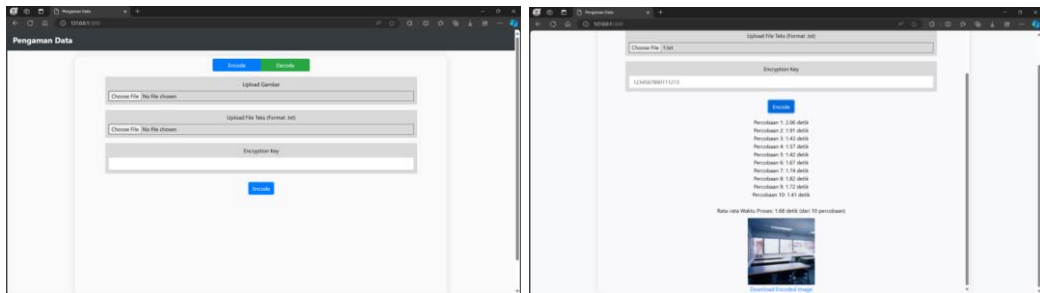
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Implementasi Antarmuka

Setelah melalui proses perancangan terhadap sistem, adapun hasil perancangan website adalah sebagai berikut;

a. Halaman *Encode*

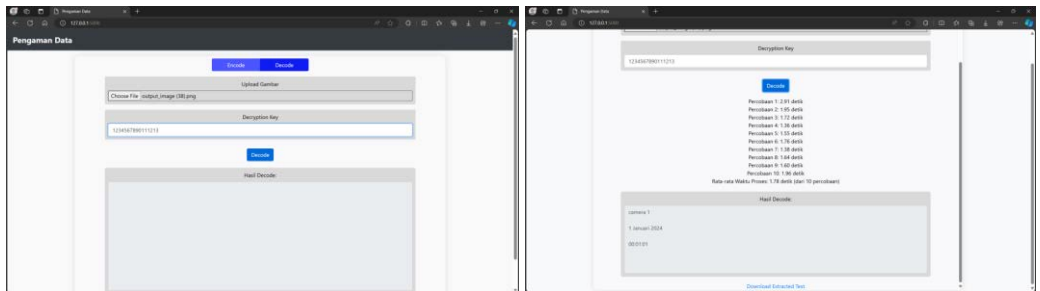
Pada Halaman *Encode* user dapat memasukkan gambar, *plaintext*, dan kunci enkripsi. Kemudian ketika user menekan tombol *encode* maka hasil *encode* akan ditampilkan seperti pada gambar 7. User juga dapat mengunduh gambar hasil penyisipan agar pesan dapat dikirim dengan aman.



Gambar 7. Tampilan Menu *Encode*

b. Halaman *Decode*

Pada halaman *decode* user dapat memasukkan gambar stego dan kunci dekripsi, kemudian ketika user menekan tombol *decode* sistem akan menampilkan hasil *decode* seperti pada gambar 8.



Gambar 8. Tampilan Menu *Decode*

3.2 Hasil Pengujian *Avalanche effect*

Dalam pengujian *Avalanche effect* ini dilakukan perhitungan jumlah bit yang berbeda antara dua *ciphertext*, kemudian dihitung persentasenya sebagai *Avalanche effect*. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian *Avalanche effect*

| No | Plaintext | Key 1 | Key 2 | Ciphertext 1 | Ciphertext 2 | Avalanche Effect |
|----|--|----------------------|----------------------|---|--|------------------|
| 1 | camera 1 1 Januari 2024 00:01:01 | 123456789 0111213 | 123456789 0111214 | 000b8dd966b305cc 83b97332d734e84 019bf91ccbb001ec c39cfba732329a50 9a67f648d45b57e5 dbb07044ef843635 | 0759c1334975ca36 5e6bcf06fcd0558e 2bb23922f8776008 92e02424d2d7a68 9234e97d4a69c670 9cad981ee77ab0d | 52.84% |











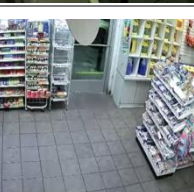



| No | Plaintext | Key 1 | Key 2 | Ciphertext 1 | Ciphertext 2 | Avalanche Effect |
|-------------|---|--------------------------|--------------------------|--|---|------------------|
| 2 | Camera 2 2 Februari 2025 11:02:30 | s9ai5BEo2 @pQ3h7i | s9ai5BEo2 @pQ3h7j | f30c97c0fe9701222 aef1c95a7a6b59c9 cf6d58506372f8bdb 2ac40e4e556dd4a6 39daf68fb8c9679d3 9405d16953f03 | a8ac168fb4affd955 0f2f836c32a85bf17 910486ad7b807252 099396f71e7592f2c 76ee570f42684337 96165b9862040 | 49.74% |
| 3 | Camera 3 3 Maret 2026 22:03:27 | o82AvbY20 kKm31dw | o82AvbY20 kKm31dy | 83bee816f4b8800d 765205ed697f26ed c1fd73f8a1b4efbcd 97c1552e6025186 | 68e2a75b7309972d 373b5232feed8b95 9ad1735156492939 57c0aa472e1b24cb | 52.34% |
| 4 | Camera 4 4 April 2027 12:14:29 | k#19Js1aq4 67CBwi | l#19Js1aq4 67CBwi | 06d1adefc84242cb 03d032b76ff58c44a b636a98faf9aab29 14373e22f01a849 | 9f0e1899bb44415d effc758d3b24cf4c2 887ab746dff82341 83ca0b23854612 | 46.48% |
| 5 | Camera 5 5 Mei 2028 08:23:16 | Y7za@K98 %aOw53m G | Z7za@K98 %aOw53m G | b99fc88f108f70b33 80a0d306e9cd1623 1ddea146a6bf7f5fe 5bc1534210229 | 3618c0af29439ba7 6997b8a4088bda4f 5f49017b613f2637c 7707c1ecf8294e8 | 48.05% |
| 6 | Camera 6 6 Juni 2029 04:08:12 | q7za@K98 %aOw53m G | o7za@K98 %aOw53m G | 3dc263a584f1265c a6ced455dc72f518f 2d93ae978547124 2d5b2e5520bee03 a | fab7c7393fa61c3e4 a9c6b9ebe2516526 652a56612a10c028 eca63bd4779389c | 55.08% |
| 7 | Camera 7 7 Juli 2030 11:18:30 | k#19Js1aq4 67CBwi | k#19Js1ar4 67CBwi | 9fd88d7013a172b1 1c8466340a185acc 521ab39736875d8 31e5e9869e9f9772 4 | 5588ae23ac20a7a7 6bcefe23df91ea5c1 fae75ebbd47a649a 40613712c2c2198 | 48.05% |
| 8 | Camera 8 8 Agustus 2031 11:18:30 | o82AvbY20 kKm31dw | o82AvbY30 kKm31dw | 635f83b4ea7c7acd c194ccbb76996abf 2310bcfd46516375 0384b7708d29770 578aa7a94152952 8d1d8da18d6bd03 3c6 | 86ddbdf9c6cc0b1fb 2f92818d18e5dd78 7fa003afd5a20979c f5bc8bbbc3f109f8 0541eac10b4091fe 257e58e38fcf6 | 51.30% |
| 9 | Camera 9 9 September 2032 11:18:30 | 123456789 0111213 | 123456799 0111213 | e35676f6ab3a65e2 2c743a72974f3cf23 70f9bc0aeaa44ea4 85def2b8bc365ac6 a8ed86c07cf24e8fd 3e258df4f4e7a1 | c8af7b25eb1710ef2 051ad59e04cb7096 b8a3509efc1541ac b5b369e495cb6e76 2a98bcfcc3ffae6f2e ec7031be109a4 | 48.96% |
| 10 | Camera 10 10 Oktober 2033 11:18:30 | s9ai5BEo2 @pQ3h7i | s9ai5BEo1 @pQ3h7i | 387d503ae1b6d9c6 26da73ba67c4bca3 cf76e55b38c4b81d 861406abbf539703 098a4da66d62d9b 2cbd7a03478a1456 0 | bc0e7137103f4c88 e36a595db1864118 7e6ad40e7fdb7bbd 3c3cf2f2d0aaf1593 a7528b1fd161bd6e 24ec2676112927d 0 | 50.26% |
| Rata - rata | | | | | | 50.31% |






Pengujian dilakukan pada sepuluh percobaan yang berbeda. Setiap percobaan menggunakan *plaintext* dan kunci enkripsi yang berbeda. Untuk setiap percobaan, *plaintext* dienkripsi dua kali dengan kunci yang berbeda yang memungkinkan perbandingan langsung antara *ciphertext* yang dihasilkan dari perubahan kunci yang dilakukan. Setelah *ciphertext* pertama dan *ciphertext* kedua dengan kunci yang diubah telah didapatkan, selanjutnya dilakukan perhitungan *Avalanche effect* dengan memasukan *ciphertext* ke program perhitungan. Hasil pengujian menunjukkan nilai *Avalanche effect* yang bervariasi antara 46.48% hingga 55.08%, dengan rata-rata keseluruhan sebesar 50.31%. Pada hasil pengujian tersebut, nilai *Avalanche effect* yang tinggi, seperti pada percobaan keenam dengan 55.08%, menunjukkan bahwa algoritma enkripsi memberikan respons yang kuat terhadap perubahan pada *plaintext* atau kunci. Artinya, setiap perubahan kecil pada *plaintext* atau kunci enkripsi akan menghasilkan perubahan yang signifikan pada *ciphertext*. Secara keseluruhan, pengujian ini menunjukkan bahwa algoritma enkripsi yang digunakan dalam semua percobaan mampu menjaga tingkat *Avalanche effect* dengan nilai rata-rata sebesar 50.31%.

3.3 Pengujian Hasil Penyisipan

Pengujian dilakukan dengan sepuluh percobaan, masing-masing dengan gambar asli yang berbeda, yang disisipkan data *ciphertext* menghasilkan gambar baru yang disebut stego image. Gambar asli dan stego image kemudian diinput ke program perhitungan untuk mendapatkan nilai MSE dan PSNR. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian MSE dan PSNR

| No | Gambar Asli | <i>Ciphertext</i> | Stego Image | MSE | PSNR |
|----|---|--|--|---------|-----------|
| 1 |  | 000b8dd966b305cc83 b97332d734e84019bf 91ccb001ecc39cfba7 32329a509a67f648d4 5b57e5dbb07044ef84 36352 |  | 0.00278 | 73.679 db |
| 2 |  | f30c97c0fe9701222aef 1c95a7a6b59c9cf6d58 506372f8bdb2ac40e4e 556dd4a639daf68fb8c 9679d39405d16953f0 3 |  | 0.00263 | 73.923 db |
| 3 |  | 83bee816f4b8800d76 5205ed697f26edc1fd7 3f8a1b4efbcd97c1552 e6025186 |  | 0.00191 | 75.314 db |
| 4 |  | 06d1adefc84242cb03d 032b76ff58c44ab636a 98faf9aab2914373e22 f01a849 |  | 0.00179 | 75.601 db |
| 5 |  | b99fc88ff108f70b3380 a0d306e9cd16231dde a146a6fb7f5fe5bc1534 210229 |  | 0.00067 | 79.857 db |
| 6 |  | 3dc263a584f1265ca6c ed455dc72f518f2d93a e9785471242d5b2e55 20bee03a |  | 0.00030 | 83.244 db |
| 7 |  | 9fd88d7013a172b11c8 466340a185acc521ab 39736875d831e5e986 9e9f97724 |  | 0.0017 | 75.613 db |

| No | Gambar Asli | Ciphertext | Stego Image | MSE | PSNR |
|------------|---|--|--|---------|-----------|
| 8 |  | 635f83b4ea7c7acdc19 4ccbb76996abf2310bc fd465163750384b770 8d29770578aa7a9415 29528d1d8da18d6bd0 33c6 |  | 0.0027 | 73.726 db |
| 9 |  | e35676f6ab3a65e22c7 43a72974f3cf2370f9bc 0aeea44ea485def2b8 bc365ac6a8ed86c07cf 24e8fd3e258df4f4e7a 1 |  | 0.0018 | 75.549 db |
| 10 |  | 387d503ae1b6d9c626 da73ba67c4bca3cf76e 55b38c4b81d861406a bbf539703098a4da66 d62d9b2cbd7a03478a 14560 |  | 0.00051 | 81.014 db |
| Rata -rata | | | | | 76.758 db |

Dalam pengujian ini, nilai MSE bervariasi dari 0.00030 hingga 0.00278, menunjukkan bahwa teknik penyisipan data yang digunakan efektif dalam mempertahankan kualitas gambar asli. Sedangkan PSNR pada pengujian ini berkisar antara 73.679 dB hingga 83.244 dB, dengan rata-rata 76.758 dB. Nilai ini menunjukkan bahwa kualitas visual yang baik dari gambar stego.

3.4 Pengujian Kinerja Sistem

Hasil pengujian yang dapat dilihat pada tabel 3 menunjukkan waktu yang dibutuhkan untuk proses *Encode* dan *Decode* relatif singkat, yaitu sekitar 1,3 hingga 1,9 detik. Hal ini menunjukkan bahwa sistem yang diimplementasikan cukup efisien dalam hal waktu, dimana waktu yang dibutuhkan untuk *Encode* dan *Decode* cenderung konsisten, meskipun ada sedikit variasi tergantung pada ukuran dan kompleksitas gambar asli. Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa untuk semua sepuluh percobaan, *plaintext* asli berhasil diekstraksi dari stego image dengan tepat. Ini menandakan bahwa tidak ada kehilangan data atau perubahan dalam pesan yang disisipkan selama proses penyisipan dan ekstraksi. Pengujian ini menunjukkan bahwa teknik yang digunakan efektif dalam menyisipkan dan melindungi pesan dalam gambar digital. Teknik ini memastikan bahwa pesan tersembunyi dapat diekstraksi dengan akurasi yang baik.

Tabel 2. Hasil Pengujian MSE dan PSNR

| No | Plaintext | Gambar Asli | Waktu Encode | Hasil Decode | Waktu Decode |
|----|---|--------------|--------------|---|--------------|
| 1 | camera 1 1 Januari 2024 00:01:01 | gambar 1.png | 1,59 detik | camera 1 1 Januari 2024 00:01:01 | 1,69 detik |
| 2 | Camera 2 2 Februari 2025 11:02:30 | gambae 2.png | 1.75 detik | Camera 2 2 Februari 2025 11:02:30 | 1,84 detik |
| 3 | Camera 3 3 Maret 2026 22:03:27 | gambar 3.png | 1,52 detik | Camera 3 3 Maret 2026 22:03:27 | 1,60 detik |
| 4 | Camera 4 4 April 2027 12:14:29 | gambar 4.png | 1,45 detik | Camera 4 4 April 2027 12:14:29 | 1,28 detik |
| 5 | Camera 5 5 Mei 2028 08:23:16 | gambar 5.png | 1,86 detik | Camera 5 5 Mei 2028 08:23:16 | 1,56 detik |
| 6 | Camera 6 6 Juni 2029 04:08:12 | gambar 6.png | 1,62 detik | Camera 6 6 Juni 2029 04:08:12 | 1,29 detik |

| No | Plaintext | Gambar Asli | Waktu Encode | Hasil Decode | Waktu Decode |
|----|---|---------------|--------------|--|--------------|
| 7 | Camera 7 7 Juli 2030 11:18:30 | gambar 7.png | 1,37 detik | Camera 7 7 Juli 2030 11:18:30 | 1,34 detik |
| 8 | Camera 8 8 Agustus 2031 11:18:30 | gambar 8.png | 1,55 detik | Camera 8 8 Agustus 2031 11:18:30 | 1,66 detik |
| 9 | Camera 9 9 September 2032 11:18:30 | gambar 9.png | 1,63 detik | Camera 9 9 September 2032 11:18:30 | 1,94 detik |
| 10 | Camera 10 10 Oktober 2033 11:18:30 | gambar 10.png | 1,73 detik | Camera 10 10 Oktober 2033 11:18:30 | 1,76 detik |

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Berdasarkan pengujian terhadap implementasi Algoritma *Advanced Encryption Standard* yang telah dilakukan hasil pengujian dengan sepuluh kali percobaan menunjukkan nilai rata-rata *Avalanche effect* sebesar 50,31%, artinya algoritma dapat menghasilkan perubahan yang baik dalam *ciphertext* ketika dilakukan perubahan satu bit pada kunci enkripsi sehingga sulit bagi kriptanalis untuk melakukan serangan karena nilai ideal untuk AE dikategorikan baik jika perubahan dalam bit bernilai sebesar 45%-60% (50% adalah hasil yang sangat baik).
- b. Berdasarkan pengujian terhadap implementasi algoritma steganografi BPCS (*Bit-Plane Complexity Segmentation*) yang telah dilakukan didapatkan nilai MSE yang bervariasi dari 0,00001 hingga 0,00271 dan rata-rata nilai PSNR 76.758 dB yang artinya kualitas visual dari stego images yang dihasilkan baik, karena nilai PSNR di atas 40 dB dianggap menunjukkan kualitas yang baik.

Referensi

- [1] Permana, A. A., Nurnaningsih, D., "Rancangan Aplikasi Pengamanan Data Dengan Algoritma Advanced Encryption Standard (Aes)", *Jurnal Teknik Informatika*, vol. 11, no. 2, p. 177-186. 2018.
- [2] Malvi, A., Painem, P., "Pengamanan File Gambar pada Media Video dengan Kriptografi Algoritma RSA dan Steganografi Algoritma End of File (EOF)", *Informatik: Jurnal Ilmu Komputer*, vol. 16, no. 2, p. 67-74. 2020.
- [3] Nawawi, D. B., Huda, M. M., & Prabowo, T., "Perbandingan Enkripsi *Advanced Encryption Standard* dan Enkripsi Rivest Shamir Adleman", *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, vol. 8, no. 3, p. 1649-1655. 2024
- [4] Muslih, M., Handoko, L. B., "PENGUJIAN AVALANCHE EFFECT PADA KRIPTOGRAFI TEKS MENGGUNAKAN AUTOKEY CIPHER", *Seminar Nasional Teknologi dan Multidisiplin Ilmu (SEMNASTEKMU)*, vol. 2, no. 1, p. 127-134. 2022.
- [5] Pamungkas, N. B., Darwis, D., Nurjayanti, D., Prastowo, A. T., "Perbandingan Algoritma Pixel Value Differencing dan Modulus Function pada Steganografi untuk Mengukur Kualitas Citra dan Kapasitas Penyimpanan", *J. Inform*, vol. 20, no. 1, p. 67-77. 2020

Sistem Digital Signature Untuk Verifikasi Dokumen Digital Menggunakan Mac Address Pada SHA-256 dan AES-128

I Dewa Gde Putra Anga Biara^{a1}, I Putu Gede Hendra Suputra^{a2}, I Gusti Agung Gede Arya Kadyanan^{a3}, I Gede Arta Wibawa^{a4}

^aProgram Studi Informatika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Udayana

Jalan Raya Kampus Unud, Badung, 08361, Bali, Indonesia

¹angabiara@gmail.com

²hendra.suputra@unud.ac.id

³gungde@unud.ac.id

⁴gede.arta@unud.ac.id

Abstract

The advancement of internet technology has drastically changed the way we communicate and share information, enabling the transmission of data in various formats such as audio, video, images, and files. However, this convenience also brings new challenges such as document forgery and the low authenticity of files. This research aims to develop a desktop application-based system capable of verifying the authenticity of digital documents by implementing digital signatures using MAC addresses on the AES-128 and SHA-256 cryptographic algorithms. The system is designed to perform document hashing and encryption processes, store encryption results in a database, and provide key recipients with access for decryption. The results of the research indicate that the system can perform encryption and decryption very well, as evidenced by the successful decryption of ciphertext and the retrieval of the original document verified by the user. Additionally, the system's performance was tested using the avalanche effect method, which showed an average of 50.94%, indicating a high level of security that is difficult for attackers to breach. Black-Box testing involving login, registration, document signing, and document verification scenarios also demonstrated that the system functions according to specifications and can handle core operations effectively. The system's success in ensuring the authenticity and integrity of digital documents provides an effective solution to the growing problem of document forgery in the digital age.

Keywords: cryptography, AES-128, SHA-256, encryption, decryption

1. Pendahuluan

Teknologi saat ini tengah berkembang dengan sangat pesat. Dengan adanya internet menjadikan segala sesuatu yang kita lakukan sangat bergantung terhadap internet. Salah satu hal yang terdampak dengan adanya internet adalah cara kita berkomunikasi. Selain untuk mengirimkan pesan, dengan adanya internet kini jenis informasi yang bisa dikirimkan menjadi lebih banyak, sebagai contoh informasi itu dapat berupa suara, video, gambar maupun file. Pada riset yang dilakukan pada tahun 2022 oleh Petroc Taylor, terdapat 3 aplikasi untuk berbagi file yang menjadi peringkat teratas yang digunakan secara global yaitu Google Drive memimpin dengan pangsa pasar sebesar 28,13 persen, disusul oleh Dropbox yang memiliki basis di San Francisco dengan memiliki pangsa pasar sebesar 27,6 persen, dan yang terakhir adalah Box dengan menguasai pangsa pasar 14,5 persen. Meskipun dengan adanya aplikasi yang mempermudah untuk melakukan pengiriman file melalui internet, timbul masalah baru yaitu penyebaran file yang tidak benar dan rendahnya tingkat keaslian dari sebuah file. Maka dari itu kebutuhan akan keamanan serta verifikasi keaslian data maupun informasi semakin meningkat.

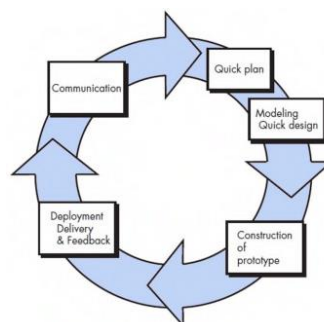
Salah satu dampak negatif dari mudahnya akses untuk menyebarkan file adalah pemalsuan file. Menurut artikel dari *pusiknas.polri.go.id*, terdapat 95 data penindakan kasus pemalsuan surat dari tanggal 1 – 12 Januari 2022. Dari data yang telah didapat tersebut dapat dirata-ratakan untuk setiap harinya terdapat 7 kasus pemalsuan dokumen dan surat. Hal ini menunjukkan bahwa tingginya angka kasus pemalsuan dokumen dan surat yang masih terjadi saat ini. Untuk dapat menjaga keaslian dari suatu dokumen, perlu dilakukannya pengecekan pada dokumen yang telah diterbitkan untuk mengecek keaslian dari dokumen tersebut. Memberikan digital signature kepada dokumen yang akan diterbitkan merupakan salah satu cara untuk menjaga keaslian dokumen tersebut. Tanda tangan digital adalah sebuah nomor yang bergantung pada beberapa rahasia yang hanya diketahui oleh si penandatanganan (kunci pribadi si penandatanganan), dan juga pada isi pesan yang ditandatangani [1].

Kriptografi merupakan metode pengamanan data dengan mengubah pesan menjadi bentuk lain yang tidak dapat dipahami tanpa kunci yang tepat, digunakan untuk mengamankan file seperti dokumen, video, gambar, dan audio [2]. Kriptografi dibagi menjadi dua jenis utama: simetris dan asimetris. Kriptografi simetris menggunakan kunci privat yang sama untuk enkripsi dan dekripsi, dengan metode seperti DES, RC4, AES, OTP, dan Blowfish. Sementara itu, kriptografi asimetris menggunakan kunci privat dan publik, dengan algoritma seperti RSA, El Gamal, Elliptic Curve, Hill Cipher, dan Diffie-Hellman. AES, sebagai salah satu metode enkripsi simetris, mengubah data dalam blok 128 bit dan memiliki varian kunci seperti AES-128, AES-192, dan AES-256. Keamanan AES bergantung pada kerahasiaan kunci yang digunakan untuk enkripsi dan dekripsi.

Penelitian sebelumnya menunjukkan penerapan AES-128 untuk pengamanan data kependudukan di Dinas Dukcapil Pematangsiantar, menghasilkan file yang tidak dapat dipahami oleh pihak ketiga dan mengamankan berbagai jenis file seperti doc, xls, ppt, pdf, jpg, dan png [3]. Penelitian lain mengkaji penerapan digital signature menggunakan MAC address dengan AES-128 dan SHA-256 bit, yang meningkatkan keamanan tanda tangan digital karena keunikan MAC address dan menghasilkan string acak yang unik dengan kecepatan yang normal. Berdasarkan penelitian ini, penulis merancang aplikasi desktop untuk verifikasi keaslian dokumen digital menggunakan MAC address pada algoritma AES-128 dan SHA-256.

2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam membangun sistem ini adalah metode prototyping. Model Prototyping merupakan suatu metode pengembangan perangkat lunak dimana prototipe dibangun, diuji, dan dikembangkan kembali hingga mencapai prototipe yang dapat diterima seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Pengembangan dengan model prototipe cocok digunakan dalam situasi dimana persyaratan proyek tidak diketahui secara rinci. Dalam tahap komunikasi, dilakukan wawancara dan observasi dengan pemilik perusahaan untuk mengumpulkan kebutuhan dan masalah pengguna. Hal ini bertujuan untuk memperoleh gambaran umum mengenai sistem yang akan dibuat. Tahap *Quick Plan and Modeling Quick Design* difokuskan pada aspek tampilan atau antarmuka sistem, termasuk keluaran atau output yang diberikan kepada pengguna. Pada tahap ini dilakukan proses desain rancangan sistem dengan menggunakan Unified Modeling Language (UML), diantaranya user case dan activity diagram dan Entity Relationship Diagram (ERD). Melakukan konstruksi atau pembangunan kerangka atau desain awal dari perangkat lunak yang akan dikembangkan. Pada perancangan aplikasi bahasa pemrograman yang akan digunakan adalah Python untuk Front-End dan Golang untuk Back-End dengan tools Visual Studio Code untuk pengembangan aplikasi. Aplikasi yang dirancang menggunakan MySQL untuk penyimpanan data hasil signature. Melakukan konstruksi atau pembangunan kerangka atau desain awal dari perangkat lunak yang akan dikembangkan.



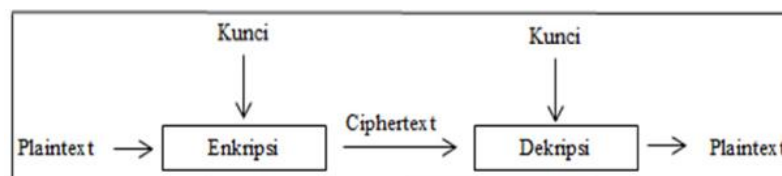
Gambar 1. Alur Metode Prototyping

2.1. MAC Address

MAC Address (*Media Access Control*) adalah alamat perangkat keras yang unik yang diberikan kepada *network interface* oleh produsen. Ini unik untuk setiap *network interface*. *Network interface* bisa berupa *Network Interface Card* (NIC) untuk jaringan kabel atau dapat berupa adaptor nirkabel. Ada berbagai perusahaan yang memproduksi *Network Interface* dan mereka memasukkan alamat perangkat keras unik di setiap *Network Interface*. Alamat ini secara unik mengidentifikasi sebuah antarmuka jaringan. Alamat Mac adalah alamat 48-bit yang direpresentasikan dalam sistem heksadesimal. 24 bit pertama mewakili kode khusus perusahaan yang diberikan oleh IEEE kepada setiap perusahaan manufaktur. Misalnya, 00:13:10 adalah kode (Organisasi Pengidentifikasi Unik) yang terkait dengan Linksys. Ada lebih dari satu kode yang terkait dengan satu perusahaan juga. Dan 24 bit berikutnya mewakili nomor khusus antarmuka untuk setiap antarmuka jaringan/adaptor tunggal.

2.2. Kriptografi

Kriptografi adalah seni dan ilmu untuk menjaga keamanan pesan dengan mengubahnya menjadi kode-kode yang hanya dapat dipahami oleh pihak yang dituju. Gambaran proses dapat dilihat pada Gambar 2. Proses ini, disebut enkripsi, mengubah data asli (*plaintext*) menjadi bentuk yang tidak dapat dikenali (*ciphertext*) untuk melindunginya dari pihak ketiga yang tidak diinginkan. Setelah pesan tersebut diterima, penerima melakukan dekripsi untuk mengembalikan data ke bentuk semula agar dapat dimengerti. Proses enkripsi dan dekripsi memerlukan kunci, yang biasanya berupa string atau deretan bilangan, untuk memastikan keamanan dan integritas pesan.



Gambar 2. Proses Enkripsi dan Dekripsi

2.3. Digital Signature

Digital signature atau *electronic signature* adalah berkas yang memungkinkan untuk membuktikan pada pihak ketiga bahwa suatu dokumen tertentu telah disetujui oleh suatu entitas (misalnya, individu atau perusahaan) seperti halnya tanda tangan kertas. Oleh karena itu, tanda tangan digital merupakan mekanisme pengamanan yang dapat diandalkan [4]. Tanda tangan digital memiliki karakteristik sebagai berikut:

- Authenticity* : identitas dari pengirim harus dapat ditemukan dengan pasti.
- Non forgery* : tanda tangan tidak dapat dipalsukan. Seseorang tidak dapat berpura-pura menjadi orang lain.
- Non reusable* : tanda tangan tidak dapat digunakan ulang. Ia merupakan bagian dari dokumen yang ditandatangani dan tidak dapat dipindahkan ke dokumen lain.
- Inalterability* : dokumen yang telah ditandatangani tidak dapat diubah. Setelah ditandatangani, ia tidak dapat diubah.
- Irrevocability* : orang yang menandatangani dokumen tidak dapat menyangkalnya.

Tanda tangan digital memberikan autentikasi identitas, mendeteksi manipulasi data yang tidak sah, menjamin keutuhan data, dan merupakan satu-satunya cara untuk memastikan non-repudiasi di dunia digital. Non-repudiasi memberikan bukti kepada pihak ketiga oleh pihak yang menandatangani. Setelah itu, pihak yang menandatangani tidak dapat menyangkal kegiatan dengan pihak ketiga atau menolak tanda tangan tersebut [5].

2.4. SHA (Secure Hash Algorithm)

SHA-256 adalah sebuah fungsi hash yang menggunakan ukuran digest 256-bit pada versi SHA-2. Fungsi hash ini didasarkan pada MD4 yang dikembangkan oleh Ronald L. Rivest dari MIT. SHA-256 menggunakan enam operasi logika dasar seperti AND, OR, XOR, *shift right*, dan *rotate right*. Algoritma ini mengubah sebuah *message schedule* yang terdiri dari 64 elemen 32-bit *word*, delapan variabel 32-bit, dan variabel penyimpanan nilai hash sebanyak delapan *word* 32-bit. Pesan masukan diubah menjadi *message digest* sepanjang 256-bit dengan menggunakan algoritma ini.

Menurut *Secure Hash Signature Standard*, jika panjang pesan masukan kurang dari 2^{64} , maka harus dioperasikan dalam kelompok 512-bit dan diubah menjadi sebuah message digest sepanjang 256-bit.

2.5. Algoritma AES

Advanced Encryption Standard (AES) merupakan salah satu algoritma kriptografi yang digunakan untuk mengamankan data. Algoritma AES dapat mengenkripsi data menjadi sebuah *chiphertext* yang tidak dapat dibaca langsung. Untuk melihat data yang terenkripsi kita perlu mendekripsi data tersebut. Proses dekripsi ini akan mengembalikan *chiphertext* menjadi data awal atau *plaintext*. Algoritma AES dapat mengenkripsi dan mendekripsi data dengan Panjang kunci yang bervariasi, yaitu 128 bit, 192 bit, dan 256 bit. Perbedaan dari ketiga urutan ini terletak pada panjang kunci yang mempengaruhi jumlah perputaran (*round*) yang dapat digambarkan dalam bentuk Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Algoritma AES

| | Panjang kunci | Panjang blok | Jumlah putaran |
|---------|---------------|--------------|----------------|
| AES-128 | 4 | 4 | 10 |
| AES-129 | 6 | 4 | 12 |
| AES-256 | 8 | 4 | 14 |

Pada Tabel 1 dapat dilihat panjang dari masing-masing kunci, blok dan jumlah putaran dari setiap algoritma. Pada penelitian ini menggunakan AES-128 bit dengan 10 kali jumlah putaran. Terdapat 4 tranformasi putaran pada proses enkripsi dan dekripsi [6]:

a. SubBytes

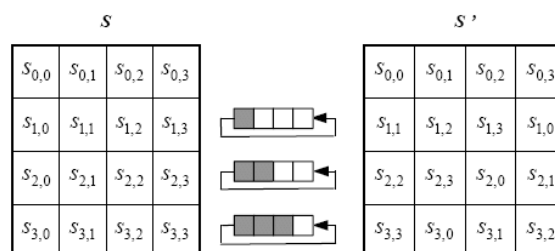
Proses menggunakan tabel substitusi untuk menukar isi byte. Penukaran per bit ini dilakukan dengan mencocokkan nilai bit dengan s box seperti yang terlihat pada Gambar 3.

| | x0 | x1 | x2 | x3 | x4 | x5 | x6 | x7 | x8 | x9 | xa | xb | xc | xd | xe | xf |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 0x | 63 | 7c | 77 | 7b | f2 | 6b | 6f | c5 | 30 | 01 | 67 | 2b | fe | d7 | ab | 76 |
| 1x | ca | 82 | c9 | 7d | fa | 59 | 47 | f0 | ad | d4 | a2 | af | 9c | a4 | 72 | c0 |
| 2x | b7 | fd | 93 | 26 | 36 | 3f | f7 | cc | 34 | a5 | e5 | f1 | 71 | d8 | 31 | 15 |
| 3x | 04 | c7 | 23 | c3 | 18 | 96 | 05 | 9a | 07 | 12 | 80 | e2 | eb | 27 | b2 | 75 |
| 4x | 09 | 83 | 2c | 1a | 1b | 6e | 5a | a0 | 52 | 3b | d6 | b3 | 29 | e3 | 2f | 84 |
| 5x | 53 | d1 | 00 | ed | 20 | fc | b1 | 5b | 6a | cb | be | 39 | 4a | 4c | 58 | cf |
| 6x | d0 | ef | aa | fb | 43 | 4d | 33 | 85 | 45 | f9 | 02 | 7f | 50 | 3c | 9f | a8 |
| 7x | 51 | a3 | 40 | 8f | 92 | 9d | 38 | f5 | bc | b6 | da | 21 | 10 | ff | f3 | d2 |
| 8x | cd | 0c | 13 | ec | 5f | 97 | 44 | 17 | c4 | a7 | 7e | 3d | 64 | 5d | 19 | 73 |
| 9x | 60 | 81 | 4f | dc | 22 | 2a | 90 | 88 | 46 | ee | b5 | 14 | de | 3e | 0b | db |
| ax | e0 | 32 | 3a | 0a | 49 | 06 | 24 | 5c | c2 | d3 | ac | 62 | 91 | 95 | e4 | 79 |
| bx | e7 | c8 | 37 | 6d | 8d | d5 | 4e | a9 | 6c | 56 | f4 | ea | 65 | 7a | ae | 08 |
| cx | ba | 78 | 25 | 2e | 1c | a6 | b4 | c6 | e8 | dd | 74 | 1f | 4b | bd | 8b | 8a |
| dx | 70 | 3e | b5 | 66 | 48 | 03 | f6 | 0e | 61 | 35 | 57 | b9 | 86 | c1 | 1d | 9e |
| ex | e1 | f8 | 98 | 11 | 69 | d9 | 8e | 94 | 9b | 1e | 87 | e9 | ce | 55 | 28 | df |
| fx | 8c | a1 | 89 | 0d | bf | e6 | 42 | 68 | 41 | 99 | 2d | 0f | b0 | 54 | bb | 16 |

Gambar 3. S-Box

b. ShiftRows

Pada langkah ini dilakukan pergeseran blok per baris pada state array. Dapat dilihat pada Gambar 4 *ShiftRows* dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut: baris pertama tidak mendapatkan pergeseran, baris kedua mengalami pergeseran ke kiri sebanyak satu kali, baris ketiga mengalami pergeseran sebanyak dua kali, dan baris keempat mengalami pergeseran sebanyak tiga kali.



Gambar 4. Shift Row

c. MixColumn

Proses mengalikan blok data atau pengacakan di masing-masing *state array* dengan rumus 2.1 sebagai berikut:

$$A(x) = \{03\}x^2 + \{01\}x^2 + \{01\}x + \{02\} \quad (2,1)$$

- d. AddRoundKey
Menggabungkan *round key* dan *round key* dengan hubungan XOR.

Proses dekripsi algoritma AES:

- 1) InvShiftRows
Melakukan pergeseran bit ke kanan pada setiap blok baris.
- 2) InvSubBytes
Element state dipetakan dengan tabel inverse S-box
- 3) InvMixColumn
Mengalikan kolom *state* dengan matriks AES.
- 4) AddRoundKey
Menggabungkan *round key* dan *round key* dengan hubungan XOR.

Algoritma AES ini merupakan array of bytes dengan dua dimensi yang disebut dengan state. Rumus yang digunakan dalam state adalah $NROW * NCOLS$. Input bytes digunakan untuk menyimpan enkripsi data yang kemudian di salin kedalam array state, dan hasil keluaran atau hasil dari enkripsi dan dekripsi akan disimpan ke dalam output bytes. Proses awal enkripsi adalah transformasi AddRoundKey yang terjadi pada salinan input yang disimpan didalam state, lalu state akan mengalami beberapa transformasi yaitu SubBytes, ShiftRows, MixColumns, dan AddRoundKey secara berulang sebanyak 9 putaran/round. Untuk round terakhir atau round 10, state tidak mengalami transformasi MixColumns [6].

3. Hasil dan Pembahasan

Pengimplementasian sistem *digital signature* untuk verifikasi dokumen digital menggunakan MAC *address* pada SHA-256 dan AES-128 menggunakan perangkat keras dan perangkat lunak. Sistem ini dibangun menggunakan bahasa pemrograman GO. Berikut merupakan spesifikasi dari perangkat keras yang penulis gunakan :

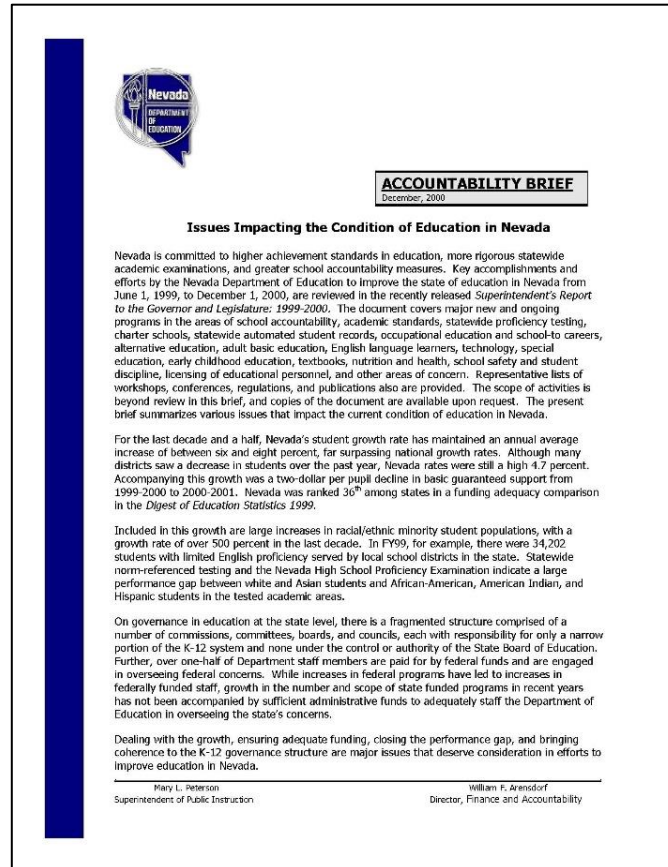
1. Processor AMD Ryzen 5 3,50 Ghz
2. RAM 16 GB
3. SSD 512 GB

Berikut perangkat lunak yang penulis gunakan :

1. Visual Studio Code
2. Sistem Operasi Windows 11

3.1. Implementasi Algoritma AES128 dan SHA256

Algoritma AES128 pada aplikasi ini diimplementasikan pada fitur *Sign Document* dan *Verify Document* sedangkan algoritma SHA256 diimplementasikan pada fitur *Sign Document*. Fitur *Sign Document* menggunakan metode enkripsi AES128 dan SHA256 serta pada fitur *Verify Document* menggunakan metode dekripsi AES128. User akan diminta untuk menginputkan dokumen yang akan ditandatangani beserta id user tujuan yang akan menerima kunci, dokumen yang diinputkan ini yang akan dienkripsi dan disimpan kedalam database serta kunci dari enkripsi tersebut akan dikirimkan ke user sesuai dengan id user yang diinputkan pada saat melakukan proses enkripsi. Pada proses pembentukan kunci membutuhkan MAC *address* dari komputer user, kemudian MAC *address* tersebut akan ditambahkan random bit oleh sistem hingga menjadi 16 bit key yang akan digunakan pada proses enkripsi dan dekripsi. Kemudian user yang memiliki kunci dan ingin melakukan verifikasi dokumen dapat melakukannya dengan menginputkan dokumen beserta kunci yang telah diberikan pada menu *Verify Document*. Pada proses *verify* inilah menggunakan metode dekripsi. Contoh pada Gambar 5. Pada menu *Sign Document* pengguna perlu memasukkan user ID (*receiver_id*) yang akan menjadi penerima kunci, pengguna yang ingin menjadi penerima kunci harus sudah terdaftar didalam sistem terlebih dahulu, sedangkan untuk *mac_address* akan dimasukkan secara otomatis oleh sistem. Untuk file *document* yang akan dimasukkan haruslah dalam format .pdf, jika pengguna memasukkan file *document* selain menggunakan format .pdf maka sistem akan memberikan notifikasi format dokumen tidak valid.



Gambar 5. Filetest7.pdf

Ketika pengguna melakukan proses sign document, sistem akan melakukan proses enkripsi dengan tahapan sebagai berikut :

a. *Generate 16-byte key*, proses diawali dengan sistem membuat 16 byte key dengan menggunakan kombinasi 6 byte mac address yang telah dimasukkan pengguna E0-70-EA-AC-C5-AD dan 10 random byte. Kombinasi kunci yang didapatkan menggunakan mac address E0-70-EA-AC-C5-AD dalam bentuk hex adalah [E070EAACC5ADC310C34A84B7356E2713].

b. Merubah bentuk file menjadi byte, setelah mendapatkan kunci untuk melakukan proses enkripsi, maka proses selanjutnya adalah merubah bentuk file menjadi byte untuk selanjutnya bisa dilakukan proses enkripsi. Berikut pada Tabel 2 merupakan contoh bentuk hex dari byte yang telah dirubah :

Tabel 2. File Document Converted To Hex

```
255044462d312e32200d25e2e3cfd3200d31302030206f626a0d3c3c0d2f4c656e677468203131203020520d2
f46696c746572202f466c6174654465636f6465200d3e3e0d73747265616d0d0a4889d4574b8f14d715fe05fd1
feed2917a7aaaaafd9cdd38c4d6cc24c842c6573bbea76f735f568ea31cde41720b1882564458a71248410461
8826290e50814b14059390b62b18058ac501c4b281b1e822025dfb98fee1aaa31c459a58d7b66aaee3ddf39dff
dcee33a0dafcda6ace6b17758cd6523566b3aacdb711add3673e89dfa4a456dc86a4ea3d7efa9254d8f9e769c1
e2d73fb4dd6741b76d59b1be9624fc77399dbf3b49df9aa1f61a4db5246ba66c9ea4e6d79138f5b6c675873ecd
a0eb9ede1d93a73d88e4
```

c. Merubah kedalam bentuk string, setelah file dirubah kedalam bentuk bytes, agar bisa dienkrpsi menggunakan algoritma SHA256, file yang telah berbentuk bytes akan diubah terlebih dahulu kedalam bentuk string menggunakan algoritma base64. Kemudian menambahkan MAC address kedalam

string sebagai *digital signature*. Contoh bentuk dari *bytes* yang telah dirubah menjadi string dapat dilihat pada Tabel 3 :

Tabel 3. Byte Converted To String

```
JVBERi0xLjlgDSXi48/TIA0xMCAwIG9iag08PA0vTGVuZ3RoIDExIDAgUg0vRmlsdGVyIC9GbGF0ZURlY29kZSANTj4Nc3RyZWFTDQplidRXS48U1xX+Bf0f7tKRenqqqt/ZzdOMTWzCTIQsZXO76nb3NfVo6jHN5BcgsYglZEWKcSSEEEYYgmKQ5QgUsUBZOQtisYBYrFACSygbHolgJd+5j+4aqjHEWaWNe2aq7j3fOd/9zuM6Da/NpqzmsXdYzWUjVms6rNtxGt02c+id+kpFbchqTqPX76kITY+edpweLXP7TdZOG3bVmxvpYk/Hc5nb87Sd+aofYaTbUka6ZsnqTm15E49bbGdYc+zaDrnt4dk6c9iOT19T9tbK2tr7v3hvZ2V16+DWzgdS9fDWxuZPdj6sbezMAbRxiTF3xDLR7FsmnEblXa/67r+MzxBtePJ+NE+ucr3do2/lcYkrj/WqVLINWgq23l//
```

d. Menambahkan MAC *address* kedalam string sebagai digital signature. Setelah formal file diubah menjadi string, MAC *address* yang berupa *byte* akan dirubah menjadi bentuk string [4HDqrMWt]. Kemudian string MAC *address* tersebut akan ditambahkan pada bagian awal dari string file document seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Add Digital Signature

```
4HDqrMWtJVBERi0xLjlgDSXi48/TIA0xMCAwIG9iag08PA0vTGVuZ3RoIDExIDAgUg0vRmlsdGVyIC9GbGF0ZURlY29kZSANTj4Nc3RyZWFTDQplidRXS48U1xX+Bf0f7tKRenqqqt/ZzdOMTWzCTIQsZXO76nb3NfVo6jHN5BcgsYglZEWKcSSEEEYYgmKQ5QgUsUBZOQtisYBYrFACSygbHolgJd+5j+4aqjHEWaWNe2aq7j3fOd/9zuM6Da/NpqzmsXdYzWUjVms6rNtxGt02c+id+kpFbchqTqPX76kITY+edpweLXP7TdZOG3bVmxvpYk/Hc5nb87Sd+aofYaTbUka6ZsnqTm15E49bbGdYc+zaDrnt4dk6c9iOT19T9tbK2tr7v3hvZ2V16+DWzgdS9fDWxuZPdj6sbezMAbRxiTF3xDLR7FsmnEblXa/67r+MzxBtePJ+NE+ucr3do2/lcYkrj/WqVLINWgq23l//
```

e. Enkripsi SHA256, setelah mengubah *file* berbentuk *byte* kedalam string, kemudian string tersebut akan dienkripsi menggunakan algoritma SHA256 untuk mencari *plaintext* yang akan digunakan kedalam enkripsi AES128. Hasil dari enkripsi SHA256 dapat dilihat pada Tabel 5 :

Tabel 5. Plaintext

```
d403aa66af446619701d159ea80a2dcf6b179bdda0ef821262f9df925d1e30e9
```

f. Hasil enkripsi dari *plaintext* yang didapatkan seperti pada Tabel 6:

Tabel 6. Ciphertext

```
8ukN4wqblVHCOFqVNRTThs2RqCSZnmcwI9Nd71hYSnFZcfQgKc42hc99XtoCeNdpt3K2/LH6Rdu1eLbQqnxZPvnuluEpLk5i2AyOF5FjrYw=
```

Setelah mendapatkan hasil dari enkripsi *file document*, hasil enkripsi tersebut akan disimpan kedalam database. Serta kunci akan langsung bisa diakses oleh pengguna yang dituju sesaat setelah sign document berhasil. Untuk melakukan verifikasi dokumen dapat menggunakan menu *Verify Document*. Kunci yang telah dibagikan dapat dilihat dan dipilih pada menu *Verify Document*. Pada menu *Verify Document* disediakan dropdown tempat pengguna dapat melihat kunci yang telah dibagikan kepada pengguna tersebut, yang nantinya akan berguna untuk melakukan proses verifikasi dokumen.

Setelah pengguna memilih kunci yang akan digunakan dalam proses verifikasi dokumen, user akan diminta memasukkan file yang akan diverifikasi. Kemudian ketika pengguna menekan tombol pilih, sistem akan langsung mengubah bentuk *file document* yang dimasukkan oleh user menjadi *byte* dan setelah itu mengubah *byte* menjadi string sama seperti pada proses enkripsi. Setelah file document

menjadi string kemudian akan dienkripsi dengan algoritma SHA256. Setelah mendapatkan hasil enkripsi dari file masukkan dari pengguna, sistem akan melakukan dekripsi pada ciphertext file yang akan diverifikasi. Dengan mencocokkan *Sign ID* yang terdapat pada *table keys*, sistem akan mendapatkan *ciphertext*, kemudian akan dilanjutkan dengan melakukan dekripsi menggunakan algoritma AES128. Melalui proses dekripsi tersebut akan didapatkan string SHA256. Kemudian string SHA256 yang didapatkan dari enkripsi file yang dimasukkan oleh pengguna akan dibandingkan dengan string SHA256 yang telah didekripsi oleh sistem. Jika hasil perbandingan tersebut sama maka dokumen yang dimasukkan oleh pengguna tersebut adalah dokumen yang asli. akan dienkripsi.

Pengujian *avalanche effect* dilakukan untuk menilai seberapa baik sistem enkripsi dapat mengubah perubahan kecil dalam input menjadi perubahan besar dan acak dalam outputnya. Dengan memodifikasi setiap bit input, pengujian ini mengamati seberapa signifikan perubahan output. Algoritma kriptografi yang baik harus selalu memenuhi nilai persamaan *Avalanche* > 50%. Hal ini memastikan bahwa penyerang tidak dapat dengan mudah memprediksi ciphertext dari teks asli atau sebaliknya.

| Nama File | Halaman File | Ukuran File | Berisi Gambar | Rata – rata Avalanche effect |
|----------------|--------------|-------------|---------------|------------------------------|
| Filetest1.pdf | 1 | 19 KB | Tidak | 52.47% |
| Filetest2.pdf | 5 | 25 KB | Tidak | 51.17% |
| Filetest3.pdf | 1 | 26 KB | Ya | 50.26% |
| Filetest4.pdf | 4 | 30 KB | Ya | 50.13% |
| Filetest5.pdf | 2 | 31 KB | Ya | 50.39% |
| Filetest6.pdf | 1 | 33 KB | Ya | 53.12% |
| Filetest7.pdf | 1 | 40 KB | Ya | 49.74% |
| Filetest8.pdf | 1 | 56 KB | Ya | 51.95% |
| Filetest9.pdf | 6 | 62 KB | Ya | 49.48% |
| Filetest10.pdf | 7 | 165 KB | Ya | 50.39% |
| Filetest11.pdf | 2 | 234 KB | Ya | 49.51% |
| Filetest12.pdf | 2 | 432 KB | Ya | 52.23% |
| Filetest13.pdf | 4 | 666 KB | Ya | 53.75% |
| Filetest14.pdf | 3 | 924 KB | Ya | 50.32% |
| Filetest15.pdf | 2 | 1,084 KB | Ya | 49.92% |
| Filetest16.pdf | 1 | 1,347 KB | Ya | 51.02% |
| Filetest17.pdf | 1 | 1,706 KB | Ya | 50.12% |
| Filetest18.pdf | 2 | 1,789 KB | Ya | 52.64% |
| Filetest19.pdf | 1 | 2,636 KB | Ya | 49.42% |
| Filetest20.pdf | 8 | 3,668 KB | Ya | 50.84% |

Algoritma kriptografi yang tidak memenuhi persamaan efek *avalanche* ini mudah ditembus oleh kriptanalisis [7].

Tabel 7. Pengujian *Avalanche Effect*

Hasil Tabel 7 didapatkan dari hasil pengujian *avalanche effect* dari *file document*. Langkah melakukan pengujian *avalanche effect* adalah dengan merubah satu bit dari *plaintext* atau dalam penelitian ini yaitu kode *file document*. Selanjutnya dilakukan perbandingan bit *ciphertext* dari *plaintext* pertama dan bit *ciphertext* dari *plaintext* yang dirubah. Setelah mendapatkan hasil perbandingan berupa jumlah bit yang berbeda dari kedua *ciphertext*, selanjutnya jumlah bit yang berbeda dibagi dengan panjang ciphertext dikalikan dengan 100%. Percobaan dilakukan sebanyak 20 kali, dengan mengubah satu buah karakter acak dari hasil hashing *file document* didapatkan rata-rata *avalanche effect* 50.94%. Yang dimana dalam studi literatur mengenai *avalanche effect* dijelaskan bahwa sistem *avalanche effect* diatas 50% sudah dapat dikategorikan sebagai sistem yang baik, karena sudah mengakibatkan masalah yang cukup sulit untuk dipecahkan oleh para penyerang [7].

Tabel 8. Pengujian *Black-Box*

| No | Skenario | Deskripsi | Hasil yang diharapkan | Hasil pengujian |
|----|----------|---|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | Login | Login dengan username dan password yang terdaftar | Pengguna dapat masuk kedalam sistem | Pengguna dapat masuk kedalam sistem |

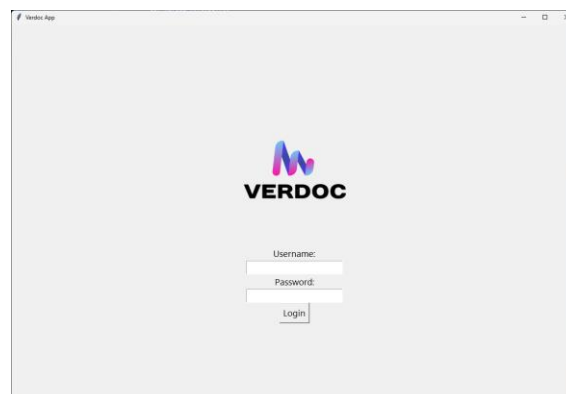
| | | | | |
|---|----------------------------------|--|---|---|
| | | Login dengan username atau password yang salah | Pengguna tidak dapat masuk kedalam sistem dan mendapatkan penanda bahwa username atau password salah. | Pengguna tidak dapat masuk kedalam sistem dan mendapatkan penanda bahwa username atau password salah. |
| 2 | Registrasi | Pengguna melakukan registrasi | Pengguna berhasil melakukan registrasi | Pengguna berhasil melakukan registrasi |
| 3 | Melakukan <i>Sign Document</i> | Pengguna memasukkan <i>file document</i> beserta <i>receiver id</i> yang tersedia pada dropdown user | Dokumen berhasil ditandatangani dan disimpan kedalam database | Dokumen berhasil ditandatangani dan disimpan kedalam database |
| 4 | Melakukan <i>Verify Document</i> | Pengguna memasukkan <i>file document</i> yang benar beserta <i>key</i> yang benar dan tersedia pada dropdown <i>keys</i> | Dokumen berhasil diverifikasi keasliannya | Dokumen berhasil diverifikasi keasliannya |
| | | Pengguna memasukkan <i>file document</i> yang salah beserta <i>key</i> yang salah dan tersedia pada dropdown <i>keys</i> | Dokumen tidak berhasil diverifikasi keasliannya | Dokumen tidak berhasil diverifikasi keasliannya |

Hasil pengujian *Black-Box* memastikan bahwa setiap fungsi utama dalam sistem berjalan sesuai dengan spesifikasi dan mampu menangani berbagai skenario yang mungkin terjadi dalam penggunaan nyata. Dari ke 4 skenario pengujian yang telah dijalankan, aplikasi dapat berjalan dengan baik. Pada skenario login, sistem berhasil memverifikasi kredensial pengguna dengan benar, memastikan bahwa hanya pengguna yang sah yang dapat mengakses aplikasi. Skenario registrasi menunjukkan bahwa sistem mampu menangani pendaftaran pengguna baru dengan tepat, menyimpan data yang diperlukan dalam database. Skenario *sign document* menunjukkan bahwa sistem mampu memproses penandatanganan dokumen elektronik dengan benar, memastikan integritas dan keaslian dokumen. Terakhir, skenario *verify document* memastikan bahwa sistem dapat memverifikasi keabsahan dokumen yang telah ditandatangani, dengan memeriksa hasil hash dekripsi dan membandingkannya dengan hash yang diinputkan. Keberhasilan dalam keempat skenario ini menunjukkan bahwa sistem aplikasi berfungsi sesuai dengan spesifikasi dan mampu menangani operasi-operasi inti dengan baik.

3.2. Tampilan Antarmuka Sistem

Bagian utama terdiri dari beberapa menu yang dapat diakses oleh user sesuai dengan fungsinya masing – masing. Berikut merupakan tampilan beserta keterangan dari menu tersebut :

1. Menu Home
Menu ini merupakan menu utama ketika user berhasil login kedalam aplikasi.
2. Menu Sign Document
Menu ini berfungsi untuk melakukan enkripsi terhadap document
3. Menu Verify Document
Menu ini berfungsi untuk melakukan dekripsi terhadap document



Gambar 6. Tampilan Antarmuka Sistem

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang telah didapatkan dari penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa perancangan aplikasi Verdoc yang mengimplementasikan digital signature menggunakan mac address pada SHA256 dan AES128 mampu mengimplementasikan algoritma kriptografi AES128 dalam mengamankan keaslian document menggunakan digital signature. Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat dilihat bahwa sistem dapat melakukan proses hashing dan enkripsi dengan sangat baik dimulai dari proses pembuatan 16 Byte kunci menggunakan mac address. Setelah sistem melakukan proses hashing dan enkripsi terhadap document, sistem dapat menyimpan hasil enkripsi tersebut kedalam database dan memberikan hak akses kepada penerima kunci. Sistem juga dapat melakukan proses dekripsi secara sangat baik dapat dibuktikan dengan berhasil mendekripsi kembali ciphertext berupa dokumen hasil hashing yang telah disimpan didalam database dan mendapatkan hasil yang sama dengan document asli yang diverifikasi oleh pengguna. Hasil pengujian Black-Box menunjukkan bahwa keempat skenario utama, yaitu login, registrasi, sign document, dan verify document, berhasil dijalankan dengan baik. Pada skenario login, sistem berhasil memverifikasi kredensial pengguna dengan benar, memastikan akses hanya untuk pengguna yang sah. Skenario registrasi menunjukkan bahwa sistem mampu menangani pendaftaran pengguna baru dengan tepat dan menyimpan data yang diperlukan dalam database. Skenario sign document menunjukkan bahwa sistem mampu memproses penandatanganan dokumen elektronik dengan benar, menjaga integritas dan keaslian dokumen. Terakhir, skenario verify document memastikan bahwa sistem dapat memverifikasi keabsahan dokumen yang telah ditandatangani dengan memeriksa hasil hash dekripsi dan membandingkannya dengan hash yang diinputkan. Keberhasilan dalam keempat skenario ini menunjukkan bahwa sistem aplikasi berfungsi sesuai dengan spesifikasi dan mampu menangani operasi-operasi inti dengan baik.

Performa dan akurasi sistem dalam melakukan enkripsi dapat dikatakan mendapatkan kualitas baik yang dimana didapatkan berdasarkan data hasil pengujian *avalanche effect* yang dilakukan pada file document yang diinputkan oleh pengguna. Dalam pengujian ini file document yang digunakan adalah Filetest7.pdf. Percobaan dilakukan sebanyak 20 kali, dengan mengubah satu buah karakter acak dari hasil hashing file document didapatkan rata-rata avalanche effect 50.94%. Yang dimana dalam studi literatur mengenai avalanche effect dijelaskan bahwa sistem avalanche effect diatas 50% sudah dapat dikategorikan sebagai sistem yang baik, karena sudah mengakibatkan masalah yang cukup sulit untuk dipecahkan oleh para penyerang.

Referensi

- [1] Genc, Y., & Afacan, E. (2021). Design and implementation of an efficient elliptic curve digital signature algorithm (ECDSA). 2021 IEEE International IOT, Electronics and Mechatronics Conference, IEMTRONICS 2021 - Proceedings. <https://doi.org/10.1109/IEMTRONICS52119.2021.9422589>
- [2] Suhandinata, S., Rizal, R. A., Wijaya, D. O., Warren, P., & Srinjiwi, S. (2019). Analisis Performa Kriptografi Hybrid Algoritma Blowfish Dan Algoritma Rsa. JURTEKSI (Jurnal Teknologi Dan Sistem Informasi), 6(1), 1–10. <https://doi.org/10.33330/jurteksi.v6i1.395>
- [3] Simbolon, I. A. R., Gunawan, I., Kirana, I. O., Dewi, R., & Solikhun, S. (2020). Penerapan Algoritma AES 128-Bit dalam Pengamanan Data Kependudukan pada Dinas Dukcapil Kota Pematangsiantar. Journal of Computer System and Informatics (JoSYC), 1(2), 54–60
- [4] Josias Gbetoho Saho, N., & Ezin, E. C. (2019). Securing Document by Digital Signature through RSA and Elliptic Curve Cryptosystems. 2019 International Conference on Smart Applications, Communications and Networking, SmartNets 2019. <https://doi.org/10.1109/SmartNets48225.2019.9069749>
- [5] Boneh, D. (2011). Digital Signature Standard. Encyclopedia of Cryptography and Security, 347–347. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-5906-5_145
- [6] Prameshwari, A., & Sastra, N. P. (2018). Implementasi Algoritma Advanced Encryption Standard (AES) 128 Untuk Enkripsi dan Dekripsi File Dokumen. Eksplora Informatika, 8(1), 52. <https://doi.org/10.30864/eksplora.v8i1.139>
- [7] Verma, R., & Sharma, A. K. (2020). Cryptography: Avalanche effect of AES and RSA. International Journal of Scientific and Research Publications (IJSRP), 10(4), p10013. <https://doi.org/10.29322/ijsrp.10.04.2020.p10013>

Sistem *Smart Healthcare* dalam Diagnosa Tingkat Stres Menggunakan Metode *Certainty Factor*

Ni Putu Vina Amandari^{a1}, Ngurah Agus Sanjaya ER^{a2}, I Gusti Ngurah Anom Cahyadi Putra ^{a3}, Ida Bagus Gede Dwidasmara^{a4}

^aProgram Studi Informatika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana Badung, Bali, Indonesia

¹vinamandari1@gmail.com

²agus_sanjaya@unud.ac.id

³anom.cp@unud.ac.id

⁴dwidasmara@unud.ac.id

Abstrak

Stres atau tegang merupakan suatu respon tubuh manusia yang terjadi ketika menghadapi suatu kondisi tertentu, seperti kondisi tertekan. Penyebab terjadinya stres pada seseorang bisa disebabkan oleh banyak faktor misalnya pekerjaan, lingkungan, masalah keluarga, atau kesehatan. Stres yang berlebihan dapat mempengaruhi kesehatan mental dan fisik seseorang. Maka dari itu diagnosis dini dan pengelolaan stres dapat membantu mencegah atau mengurangi risiko kesehatan ini. Pada penelitian ini, penulis merancang sistem diagnosis tingkat stres berbasis IoT menggunakan sensor suhu DS18B20 untuk membaca data suhu, pulse sensor untuk membaca detak jantung, dan GSR sensor untuk membaca tingkat konduktivitas kulit seseorang. Ketiga parameter tersebut digunakan sebagai inputan untuk melakukan diagnosa tingkat stres menggunakan metode certainty factor dengan output tingkatan stres terdiri dari rileks, tenang, cemas, dan tegang. Pengujian sistem dilakukan dengan cara melakukan diagnosa pada 20 subjek dengan setiap subjek melakukan 5 kali pengambilan data disetiap parameternya dimana kelima data disetiap parameternya kemudian dihitung nilai rata-ratanya untuk mendapatkan data yang lebih valid. Berdasarkan hasil perbandingan diagnosa sistem dengan kuisioner DASS 42 didapatkan tingkat akurasi sistem sebesar 85%.

Kata Kunci: *Internet of Things, DS18B20, Pulse Sensor, GSR, Stres, Certainty Factor*

1. Pendahuluan

Stres atau tegang merupakan suatu respon tubuh manusia yang terjadi ketika menghadapi suatu kondisi tertentu, seperti kondisi tertekan. Hal ini umumnya timbul karena pikiran dan tubuh bersama-sama membuat kesalahan yang sama sehingga memicu aksi dan reaksi fisiologis tubuh seseorang. Stres dapat terjadi kepada siapa saja tidak terkecuali pada mahasiswa. Mahasiswa berada pada masa transisi sebelum menjalani kehidupan yang sebenarnya di masyarakat dimana mereka seringkali dihadapkan pada berbagai tekanan baik dari segi akademik, sosial, dan pribadi dimana keadaan dapat memicu timbulnya stres.[1] Presentase mahasiswa yang mengalami stres akademik secara global sebesar 38-71%, di Asia Tenggara sebesar 39,6-61,3%, sedangkan di Indonesia presentase mahasiswa yang mengalami stres akademik sebesar 36,7-71,6%.[1]

Diagnosis tingkat stres sangat penting untuk kesehatan mental, karena membantu mengidentifikasi tingkat keparahan dan dampak stres terhadap kesejahteraan seseorang. Stres yang tidak diobati dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan mental, seperti kecemasan dan depresi, serta penyakit fisik seperti penyakit kardiovaskular. Menggunakan pendekatan tradisional dalam mendiagnosa tingkat stres seperti observasi dan wawancara memiliki beberapa keterbatasan dimana pendekatan ini mungkin membutuhkan waktu yang lebih lama untuk mengumpulkan data yang cukup dan akurat. Maka dari itu dibutuhkan alternatif pendekatan yang lebih efektif untuk mendiagnosa tingkat stres seseorang.

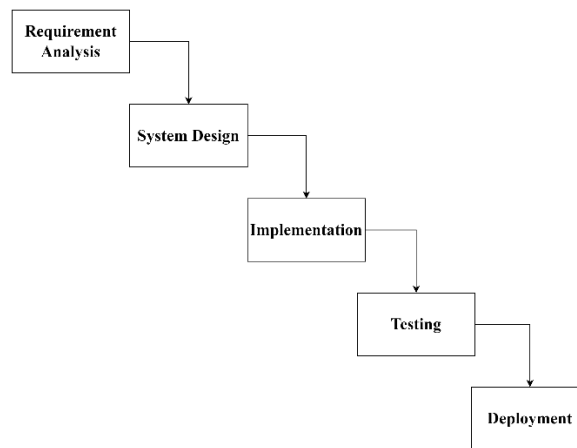
Stres dapat mempengaruhi respon fisiologi tubuh sehingga tingkat stres seseorang dapat diukur dan dianalisa berdasarkan detak jantung, suhu tubuh, dan konduktivitas kulit. *Wireless Sensor Networks* (WSN) merupakan salah satu teknologi yang menjadi trend seiring dengan perkembangan teknologi transmisi data dan kebutuhan manusia akan *Internet of Things* (IoT). IoT merupakan teknologi yang mampu menghubungkan benda-benda fisik ke dalam jaringan dan membuat benda-benda tersebut terhubung satu sama lain dan memfasilitasi adanya komunikasi. *Wireless Sensor Network*

merupakan salah satu unsur teknologi di dalam IoT yang membantu terciptanya konektivitas. IoT sudah banyak diterapkan di berbagai aplikasi untuk membantu pekerjaan manusia salah satunya yaitu pada sistem *Smart Healthcare*, dimana IoT akan membantu pasien atau pengguna untuk memperhatikan kesehatannya. *Smart Healthcare* merupakan layanan kesehatan yang ditunjang dengan kemajuan teknologi digital. Sistem ini menggunakan node sensor untuk menyimpan data pasien seperti profil pasien, detail demografis, hasil diagnosis, dan lain sebagainya. [2]

Berdasarkan permasalahan yang ada serta seiring dengan berkembangnya IoT maka dalam penelitian ini penulis membuat sebuah sistem yang mampu mendiagnosa tingkat stres seseorang dengan memanfaatkan beberapa sensor diantaranya sensor suhu, sensor konduktivitas kulit, dan sensor detak jantung. Hasil pembacaan dari ketiga sensor tersebut akan diproses dengan menggunakan metode *certainty factor* untuk mendapatkan hasil diagnosa tingkat stres seseorang. Data yang didapatkan dari ketiga sensor dan hasil diagnosa akan disimpan dalam bentuk rekam medis digital dimana rekam medis digital ini dapat diakses melalui website.

2. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, penulis mengembangkan sistem dengan menggunakan metode *System Development Life Cycle* (SDLC) model *Waterfall*. Tahapan pada model *waterfall* dapat dilihat melalui grafik pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Metode Waterfall

2.1 Analisis Kebutuhan

Untuk mempermudah menganalisis sistem yang dibuat maka dibutuhkan analisis kebutuhan sistem yang terdiri dari kebutuhan fungsional dan kebutuhan non fungsional. Kebutuhan fungsional mencakup proses apa saja yang nantinya akan dilakukan oleh sistem sedangkan kebutuhan non fungsional menitikberatkan pada perilaku yang dimiliki oleh sistem.

a. Kebutuhan Fungsional

Kebutuhan fungsional merupakan kebutuhan yang berisi proses apa saja yang nantinya dilakukan oleh sistem. Berikut ini kebutuhan fungsional dari sistem yang penulis buat :

- Sistem mampu membaca suhu tubuh, *Galvanic Skin Response* (GSR), dan detak jantung yang akan diambil menggunakan sensor
- Sistem mampu melakukan diagnosa tingkat stres seseorang menggunakan metode *certainty factor* berdasarkan data suhu tubuh, konduktivitas kulit, dan detak jantung
- Sistem mampu menampilkan data serta hasil diagnosa pengguna melalui halaman website

b. Kebutuhan Non Fungsional

Analisis kebutuhan non fungsional merupakan analisis yang dibutuhkan untuk menentukan spesifikasi kebutuhan sistem. Spesifikasi ini juga meliputi elemen atau komponen-komponen apa saja yang dibutuhkan untuk sistem yang akan dibangun sampai dengan sistem tersebut diimplementasikan.

1. Analisis Kebutuhan Perangkat Keras

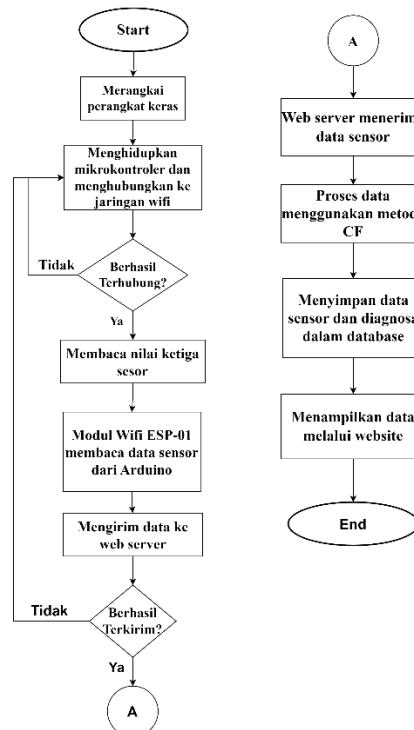
Perangkat keras yang akan digunakan pada pembuatan sistem ini diantaranya :

- Arduino Mega 2560
- Modul WiFi ESP-01
- Sensor Suhu DS18B20
- GSR Sensor

- Pulse Sensor
 - Kabel Jumper
 - Breadboard
 - LCD
 - Button
 - Buzzer
2. Analisis Kebutuhan Perangkat Lunak
Perangkat lunak yang dibutuhkan dalam proses pembuatan sistem ini yaitu :
- Arduino IDE
 - MySQL
 - Code Editor
 - Server side programming

2.2 Design System

a. Rancangan Alur Kerja *Client* dan *Server*



Gambar 2. Rancangan Alur Kerja *Client* dan *Server*

Melalui grafik yang dapat dilihat pada Gambar 2, alur kerja sistem dimulai dengan menghidupkan *hardware* kemudian arduino akan mencoba menghubungkan modul WiFi ESP-01 ke jaringan yang telah dikonfigurasi berdasarkan SSID dan *password* WiFi yang digunakan. Apabila berhasil terhubung ke jaringan, arduino akan membaca data dari ketiga sensor kemudian data ketiga sensor akan diproses terlebih dahulu sebelum dikirim ke modul WiFi ESP-01. Data yang telah diproses akan dikirim ke server melalui modul WiFi ESP-01. Server akan menerima data ketiga sensor kemudian memproses ketiga data tersebut menggunakan metode *certainty factor* untuk menghasilkan dignosa. Ketiga data sensor dan hasil diagnosa kemudian akan disimpan pada database sebelum ditampilkan melalui antarmuka website.

b. Rancangan Metode *Certainty Factor*

Certainty factor merupakan metode yang digunakan untuk mendefinisikan keyakinan suatu fakta berdasarkan tingkat keyakinan seorang pakar. Metode *Certainty Factor* memiliki kelebihan yaitu metode ini sangat cocok digunakan untuk sistem pakar karena keakuratan data yang diolah dapat terjaga.[3] Sebelum menentukan rule yang dibutuhkan metode *certainty factor* dalam mendiagnosa tingkat stres, diperlukan range parameter disetiap kondisinya. Parameter tingkat stress untuk usia dewasa muda di setiap kondisi dapat dilihat melalui Tabel 1 berikut. [4]

Tabel 1. Parameter Tingkat Stres Dewasa Muda

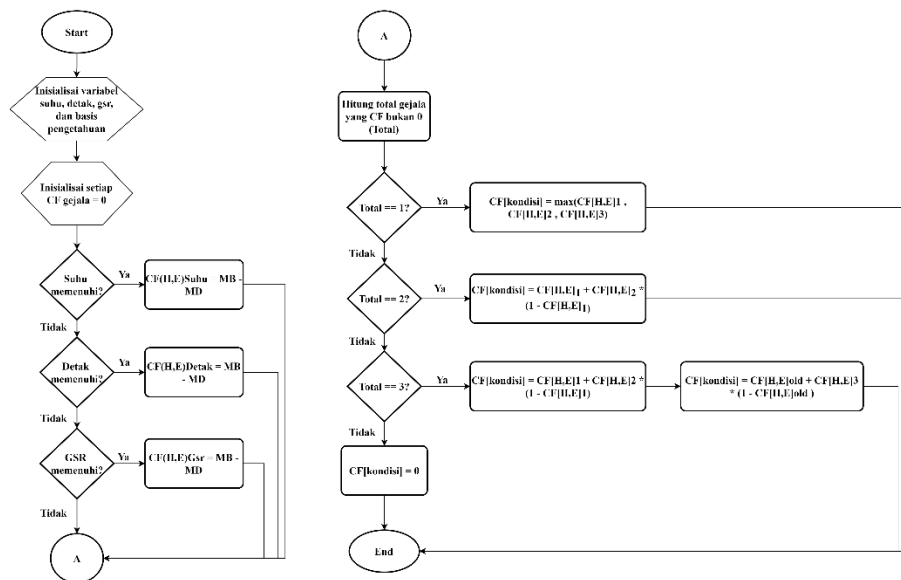
| Kondisi | Parameter |
|---------|-----------|
|---------|-----------|

| | Suhu Tubuh (°C) | Konduktivitas Kulit (Mv) | Detak Jantung (BPM) |
|-------------------|-----------------|--------------------------|---------------------|
| Rileks / Relaxed | 36-37 | <2 | 60-70 |
| Tenang / Calm | 35-36 | 2-4 | 70-90 |
| Cemas / Tense | 33-35 | 4-6 | 90-100 |
| Tegang / Stressed | <33 | >6 | >100 |

Setelah diketahui parameter tingkatan stres seperti pada Tabel 1, maka dibuatkan sebuah basis pengetahuan yang berisi nama kondisi, kode gejala, nama gejala serta nilai MB dan nilai MD di masing-masing gejala. Informasi terkait nama kondisi, nama gejala, hingga nilai MB dan MD disetiap gejala dapat dilihat melalui Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Nilai MB dan MD Setiap Kondisi

| Kode Kondisi | Nama Kondisi | Kode Gejala | Nama Gejala | MB | MD |
|--------------|--------------|-------------|--|-----|-----|
| K1 | Rileks | G01 | Suhu ≥ 36 dan Suhu ≤ 37 | 0.6 | 0.4 |
| | | G02 | GSR < 2 | 0.6 | 0.4 |
| | | G03 | Detak jantung ≥ 60 dan detak jantung ≤ 70 | 0.8 | 0.2 |
| K2 | Tenang | G04 | Suhu ≥ 35 dan Suhu ≤ 36 | 0.6 | 0.4 |
| | | G05 | GSR ≥ 2 dan GSR ≤ 4 | 0.8 | 0.2 |
| | | G06 | Detak jantung ≥ 70 dan detak jantung ≤ 90 | 0.6 | 0.4 |
| K3 | Cemas | G07 | Suhu ≥ 33 dan Suhu ≤ 35 | 0.6 | 0.4 |
| | | G08 | GSR ≥ 4 dan GSR ≤ 6 | 0.6 | 0.4 |
| | | G09 | Detak jantung ≥ 90 dan detak jantung ≤ 100 | 0.8 | 0.2 |
| K4 | Tegang | G10 | Suhu < 33 | 0.6 | 0.4 |
| | | G11 | GSR > 6 | 0.8 | 0.2 |
| | | G12 | Detak jantung > 100 | 0.8 | 0.2 |



Gambar 3. Alur Kerja Metode *Certainty Factor*

Alur kerja metode *certainty factor* dalam sistem ini mulai dari inisialisasi basis pengetahuan hingga menghasilkan diagnosa tingkat stress dapat dilihat melalui *flowchart* pada Gambar 3.

1. Inisialisasi basis pengetahuan dan beberapa variable
2. Melakukan pengecekan di setiap gejala apakah memenuhi syarat kondisi atau tidak secara bertahap
3. Jika gejala memenuhi syarat suatu kondisi maka hitung nilai CF gejala tersebut kemudian variable jumlahCFBukanNol bertambah satu. Berikut rumus perhitungan nilai CF gejala [5][5]:

$$CF[H, E] = MB[H, E] - MD[H, E] \tag{1}$$

4. Melakukan pengecekan terhadap nilai variabel jumlahCFBukanNol yang menampung informasi mengenai total gejala yang memenuhi persyaratan suatu kondisi

- Apabila terdapat satu gejala yang memenuhi maka nilai CF kondisi akan sama dengan nilai CF gejala yang memenuhi
- Apabila terdapat dua gejala yang memenuhi maka, nilai CF kondisi dihitung dengan rumus berikut [5]:

$$CF\ Combine [H, E]1, 2 = CF[H, E]1 + CF[H, E]2 * (1 - CF[H, E]1) \tag{2}$$

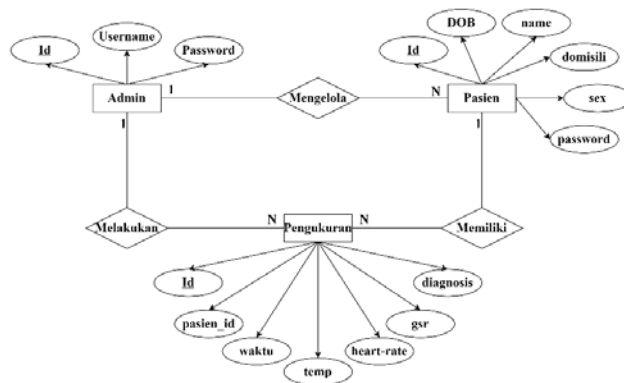
- Apabila terdapat tiga gejala yang memenuhi maka, nilai CF kondisi dihitung dengan rumus berikut[5]:

$$CF\ Combine [H, E]old, 3 = CF[H, E]old + CF[H, E]3 * (1 - CF[H, E]old) \tag{3}$$

- Apabila tidak terdapat gejala yang memenuhi, maka nilai CF kondisi = 0.

c. *Entity Relationship Diagram (ERD)*

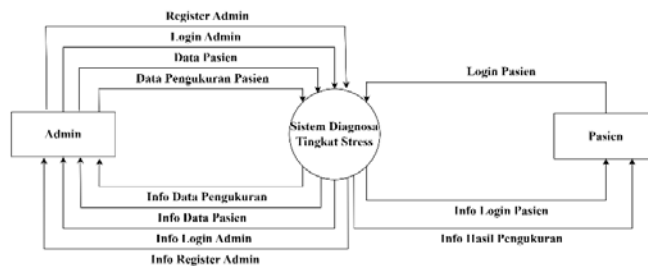
Entity Relationship Diagram (ERD) digunakan untuk memodelkan dan merancang desain basis data untuk memudahkan pemahaman tentang bagaimana data akan disimpan, diorganisir, dan diakses di dalam sistem. Basis data pada sistem ini terdiri dari tiga entitas yaitu Admin, Pasien, dan Pengukuran. Informasi lebih rinci terkait atribut di setiap entitas serta relasi yang dimiliki oleh entitas satu dengan lainnya dapat dilihat melalui Gambar 4 berikut.



Gambar 4. *Entity Relationship Diagram*

d. *Data Flow Diagram (DFD)*

1. DFD Level 0

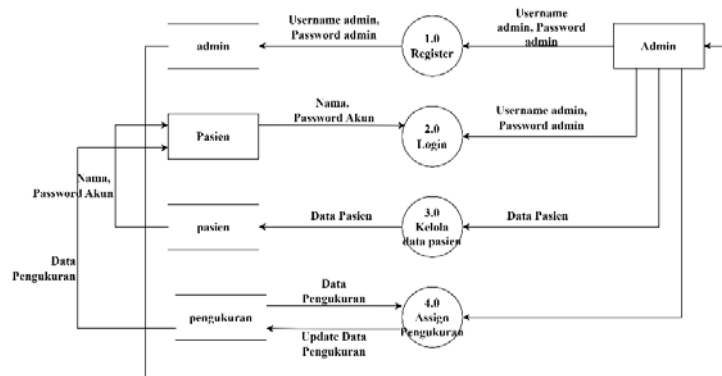


Gambar 5. DFD Level 0

DFD Level 0 digunakan untuk menunjukkan hubungan antara sistem dengan entitas eksternal tanpa penjelasan rinci mengenai proses internal. Seperti yang terlihat pada Gambar 5, terdapat dua entitas yang berinteraksi dengan sistem yaitu admin dan pasien. Alur data dari entitas admin yaitu admin dapat menginputkan data register, data login untuk admin, mengelola data pasien termasuk data pengukuran kemudian sistem akan memberikan respon berupa informasi bahwa register berhasil, respon ketika login berhasil, serta informasi mengenai hasil pengelolaan data pasien. Dari sisi pasien, pasien dapat menginputkan data untuk login kemudian sistem akan memberikan respon bahwa login berhasil dan menampilkan informasi data pengukuran.

2. DFD Level 1

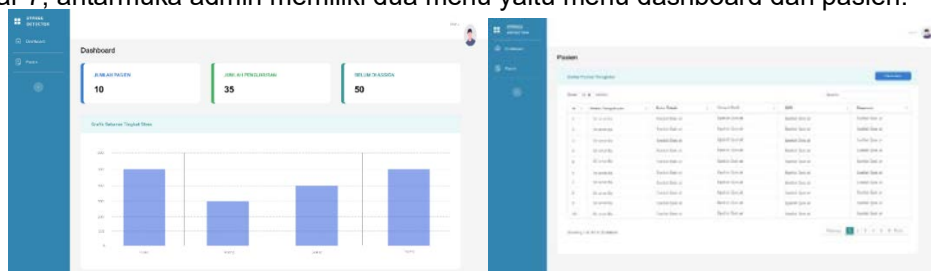
DFD Level 1 digunakan untuk merinci proses internal dan penjelasan lebih mendalam mengenai bagaimana data mengalir dalam sistem. Dapat dilihat melalui diagram pada Gambar 6, terdapat empat proses yaitu proses register, login, kelola data pasien, dan assign pengukuran. Pada proses register, admin akan memasukkan *username* dan *password* dimana kemudian kedua data tersebut akan disimpan pada database di tabel admin. Data yang sudah tersimpan akan digunakan admin untuk login ke sistem. Pada proses kelola data pasien, admin dapat mengelola data pasien kemudian pasien sebagai user dapat melakukan login berdasarkan nama dan password yang tersimpan pada tabel pasien. Pada proses *assign* pengukuran, data pengukuran pada tabel pengukuran akan di *assign* oleh admin menjadi data pengukuran milik id pasien dari tabel pasien yang dipilih admin untuk diassign. Data pengukuran yang di *assign* akan diupdate kolom *id_pasien* nya menjadi id milik pasien yang dipilih.



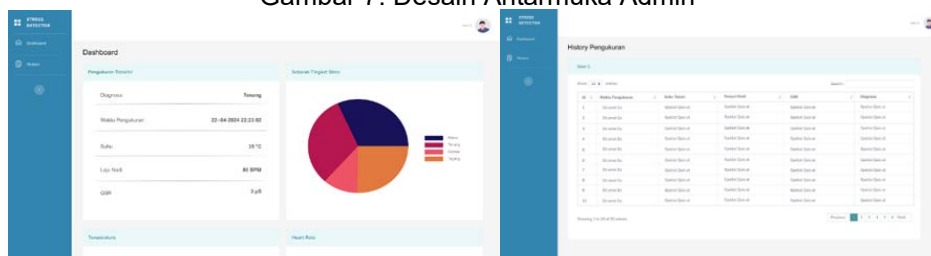
Gambar 6. DFD Level 1

e. Desain Antarmuka

Desain antarmuka website diimplementasikan ke dalam kode dengan bahasa pemrograman *PHP*, *HTML*, *CSS*, dan *framework bootstrap*. Website ini nantinya dapat diakses oleh dua pengguna yaitu sebagai admin dan sebagai user atau pasien. Seperti yang terlihat pada Gambar 7, antarmuka admin memiliki dua menu yaitu menu dashboard dan pasien.



Gambar 7. Desain Antarmuka Admin



Gambar 8. Desain Antarmuka User

Pada Gambar 8 menunjukkan desain antarmuka website user atau pasien dimana antarmuka user memiliki dua menu yaitu menu dashboard dan history.

2.3 Implementasi

Tahap implementasi ini meliputi implementasi rancangan perangkat keras, pembuatan database, pemrograman mikrokontroler agar dapat membaca data dari sensor serta mengirim data sensor ke database, pemrograman metode *certainty factor*, serta implementasi perancangan antarmuka website.

2.4 Pengujian

Pengujian tingkat akurasi hasil diagnosa metode *certainty factor* yang diterapkan pada sistem dilakukan dengan membandingkan hasil diagnosa sistem dengan hasil diagnosa kuisisioner *DASS 42*. *DASS 42 (Depression Anxiety Stress Scale 42)* merupakan instrumen yang digunakan untuk mengukur tingkat depresi, kecemasan, dan stress pada individu. Instrumen ini memiliki 42 item pertanyaan yang mencakup tiga subvariabel yaitu fisik, emosi/psikologis, dan perilaku individu.[6]

Tabel 3. Conversion of DASS 42 test tool

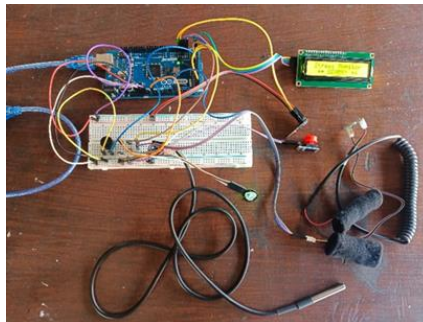
| DASS 42 | Tool |
|---|------------------|
| Depresi, Kecemasan, Stress; Normal dan Ringan | Rileks / Relaxed |
| Depresi, Kecemasan, Stress; Sedang | Tenang / Calm |
| Depresi, Kecemasan, Stress; Berat | Cemas / Anxiety |
| Depresi, Kecemasan, Stress; Sangat Berat | Tegang / Stress |

Dapat dilihat melalui Tabel 3 bahwa kuisisioner DASS 42 memiliki 3 skala yaitu depresi, kecemasan dan stres dimana masing-masing skala terdiri dari 4 kondisi yaitu normal/ringan, sedang, berat, dan sangat berat. Dari ketiga skala tersebut apabila terdapat minimal 2 kondisi yang sama maka hal tersebut dapat digunakan sebagai patokan untuk mengukur tingkat kesesuaian yang paling mendominasi. Jika tidak terdapat kondisi yang sama maka kesesuaian tidak dapat disimpulkan.[6]

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Implementasi Perangkat Keras

Hasil implementasi perangkat keras dari sistem diagnosa tingkat stress menggunakan metode *certainty factor* dapat dilihat melalui Gambar 9 berikut. Perangkat keras dari sistem ini terdiri dari Arduino Mega, modul WiFi ESP-01, sensor suhu DS18B20, pulse sensor, GSR sensor, buzzer, LCD, button, dan breadboard.



Gambar 9. Hasil Implementasi Perangkat Keras

3.2 Hasil Implementasi Database

Perancangan database untuk sistem diagnosa tingkat stress ini dirancang menggunakan MySQL. Database sistem ini terdiri dari tiga tabel, yaitu tabel pengukuran, tabel pasien, dan tabel admin. Tabel pengukuran yang dapat dilihat pada Gambar 10 digunakan untuk menyimpan data yang dikirim dari sensor dan hasil diagnosa tingkat stress menggunakan metode *certainty factor*. Informasi mengenai column serta tipe data dari tabel ini dapat dilihat pada gambar 10 berikut.

Select data Show structure Alter table New item

| Column | Type | Comment |
|------------|------------------------------|---------|
| id | int unsigned Auto Increment | |
| pasien_id | int [0] | |
| waktu | datetime [CURRENT_TIMESTAMP] | |
| temp | float | |
| heart-rate | int unsigned | |
| gsr | float | |
| diagnosis | tinyint unsigned | |

Indexes

PRIMARY id

Gambar 10. Tabel Pengukuran

Tabel pasien yang dapat dilihat melalui Gambar 11 berikut digunakan untuk menyimpan data diri pasien atau subjek penelitian yang diambil datanya. Tabel ini terdiri dari enam column diantaranya column id sebagai *primary key*, column DOB untuk menyimpan data tanggal kelahiran pasien, column name untuk menampung nama pasien, column domisili untuk menyimpan Alamat pasien, column sex untuk menyimpan gender pasien, dan column password yang digunakan untuk menampung password setiap pasien.

Select data **Show structure** Alter table New item

| Column | Type | Comment |
|----------|------------------------------------|---------|
| id | int unsigned <i>Auto Increment</i> | |
| DOB | date <i>NULL</i> | |
| name | varchar(80) <i>NULL</i> | |
| domisili | varchar(80) <i>NULL</i> | |
| sex | enum('P','W') <i>NULL</i> | |
| password | varchar(255) <i>NULL</i> | |

Indexes

PRIMARY id

Gambar 11. Tabel Pasien

Tabel admin digunakan untuk menyimpan akun admin, dimana admin nanti dapat melakukan login sesuai dengan akun yang dimilikinya. Dapat dilihat melalui Gambar 12, tabel ini terdiri dari tiga column diantaranya column id sebagai *primary key*, column username untuk menampung username admin yang dilakukan saat registrasi, dan column password yang digunakan untuk menampung password admin.

Select data **Show structure** Alter table New item

| Column | Type | Comment |
|----------|---------------------------|---------|
| id | int <i>Auto Increment</i> | |
| username | varchar(20) | |
| password | varchar(255) <i>NULL</i> | |

Indexes

PRIMARY id

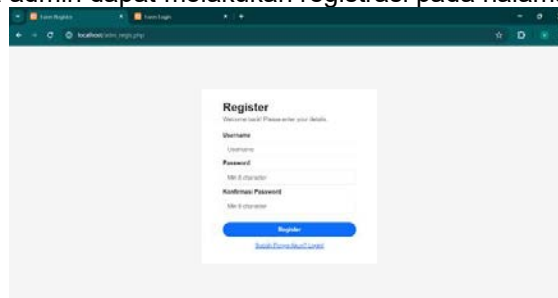
Gambar 12. Tabel Admin

3.3 Hasil Implementasi Antarmuka Website

a. Antarmuka Admin

- Register

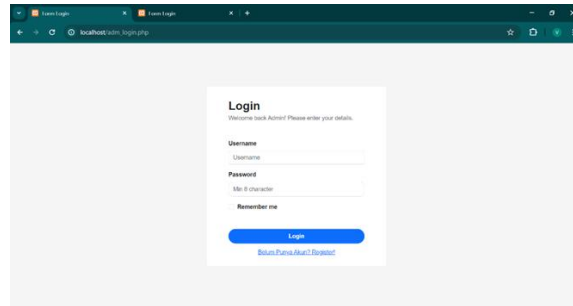
Tampilan halaman register admin dapat dilihat melalui Gambar 13 berikut. Untuk dapat masuk ke dalam sistem, admin memerlukan username dan password. Jika admin belum memiliki akun, maka admin dapat melakukan registrasi pada halaman registrasi.



Gambar 13. Halaman Register Admin

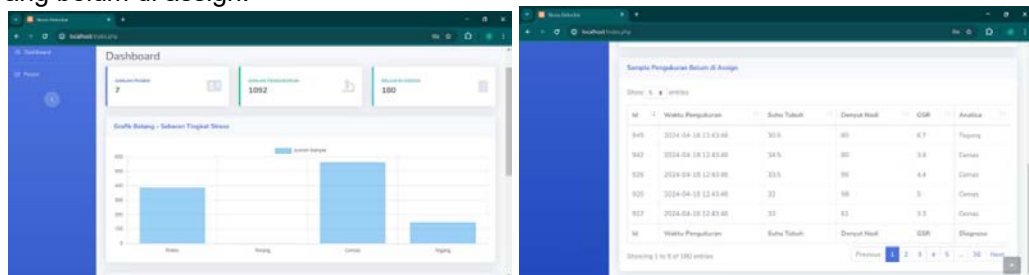
- Login

Sebelum masuk ke halaman utama website, admin harus melakukan login terlebih dahulu menggunakan username dan password. Setelah menginputkan username dan password akan dilakukan proses verifikasi sesuai dengan data admin yang ada di database. Jika admin salah menginputkan username atau password maka akan muncul pesan kesalahan bahwa username atau password salah. Tampilan halaman login admin dapat dilihat melalui Gambar 14 berikut.



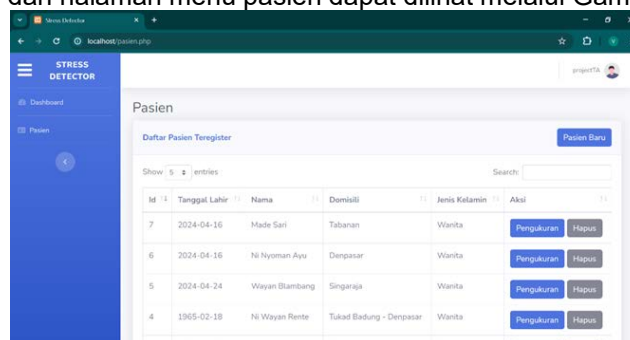
Gambar 14. Halaman Login Admin

- Menu dashboard
Seperti yang terlihat pada Gambar 15, halaman dashboard admin menampilkan beberapa informasi singkat mengenai jumlah pasien, jumlah pengukuran, jumlah data yang belum di assign, grafik sebaran tingkat stress, serta data-data pengukuran yang belum di assign.



Gambar 15. Menu Dashboard Admin

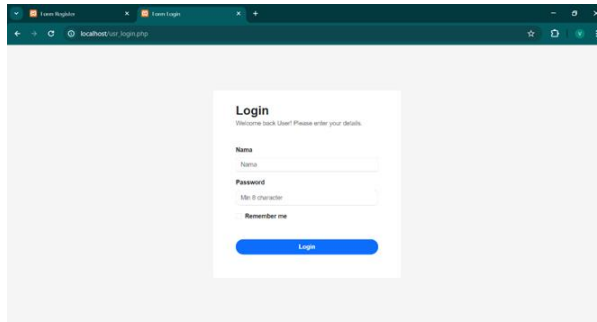
- Menu Pasien
Menu pasien menampilkan informasi data diri dari subjek penelitian yang diambil datanya. Pada halaman ini, admin dapat menambahkan data pasien baru, melakukan search data, melihat hasil pengukuran sesuai dengan data pasien, dan menghapus data pasien. Tampilan dari halaman menu pasien dapat dilihat melalui Gambar 16 berikut.



Gambar 16. Menu Pasien

b. Antarmuka User

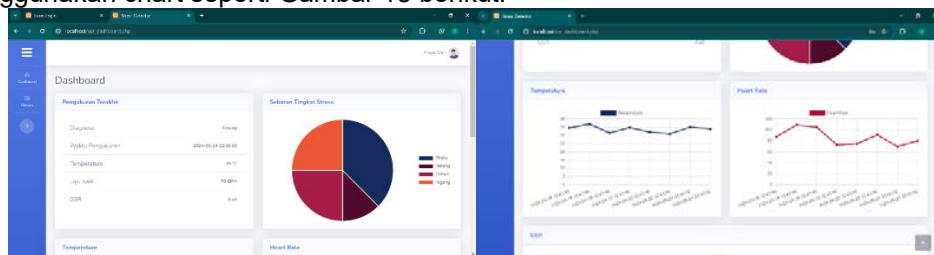
- Login
Seperti yang terlihat pada Gambar 17, untuk masuk ke halaman dashboard user akan diminta untuk login terlebih dahulu menggunakan nama serta password yang telah dibuatkan admin.



Gambar 17. Halaman Login User

- **Menu Dashboard**

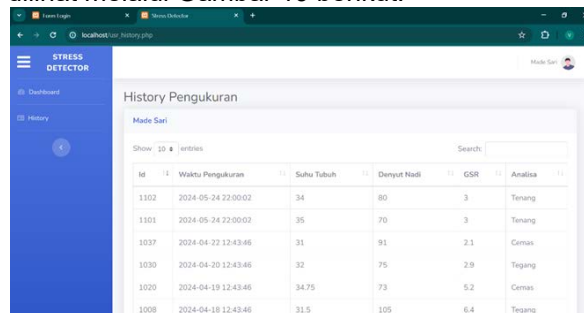
Halaman dashboard user akan menampilkan informasi mengenai hasil diagnosa, perubahan nilai suhu tubuh, denyut nadi, dan GSR dari pasien dari waktu ke waktu menggunakan chart seperti Gambar 18 berikut.



Gambar 18. Menu Dashboard User

- **Menu History**

Menu history akan menampilkan sebuah tabel yang berisi informasi waktu pengukuran, nilai suhu tubuh, nilai denyut nadi, nilai GSR, dan hasil diagnosa pasien. Tampilan dari menu history dapat dilihat melalui Gambar 19 berikut.



Gambar 19. Menu History

3.3 Hasil Pengujian Diagnosa Sistem

Data yang digunakan untuk melakukan pengujian merupakan data primer dari 20 subjek penelitian dimana setiap subjek memiliki 5 data di setiap parameternya. Kelima data di setiap parameter dihitung rata-ratanya untuk mendapatkan data masukan yang lebih stabil. Hasil diagnosa sistem dari 20 subjek penelitian dengan menggunakan nilai rata-rata di setiap parameter masing-masing subjek dapat dilihat melalui Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Hasil Diagnosa Sistem

| Mahasiswa | Suhu (°C) | Detak Jantung (BPM) | GSR (μS) | Hasil Diagnosa |
|-----------|-----------|---------------------|-----------------|----------------|
| 1 | 35.1 | 71.6 | 2.146 | Tenang |
| 2 | 35.1 | 76.6 | 2.252 | Tenang |
| 3 | 31 | 102 | 0.242 | Tegang |
| 4 | 35.8 | 85 | 2.232 | Tenang |
| 5 | 35.95 | 71 | 1.84 | Rileks |
| 6 | 34.1 | 78 | 1.528 | Rileks |

| Mahasiswa | Suhu (°C) | Detak Jantung (BPM) | GSR (μS) | Hasil Diagnosa |
|-----------|-----------|---------------------|-----------------|----------------|
| 7 | 35.1 | 69.8 | 1.34 | Rileks |
| 8 | 33.9 | 68.4 | 2.328 | Rileks |
| 9 | 35.1 | 67.6 | 1.398 | Rileks |
| 10 | 33.1 | 106 | 0.776 | Tegang |
| 11 | 34.7 | 68.6 | 0.296 | Rileks |
| 12 | 35.4 | 69.2 | 1.834 | Rileks |
| 13 | 35 | 67.4 | 1.582 | Rileks |
| 14 | 34.5 | 76.2 | 2.266 | Tenang |
| 15 | 36.1 | 76.6 | 1.252 | Rileks |
| 16 | 34.8 | 67.6 | 1.774 | Rileks |
| 17 | 35.4 | 80.8 | 2.28 | Tenang |
| 18 | 33 | 93.2 | 2.228 | Cemas |
| 19 | 34.3 | 70.2 | 2.188 | Tenang |
| 20 | 32.4 | 95.2 | 2.49 | Tenang |

Hasil diagnosa sistem dibandingkan dengan hasil kuisiner DASS 42 untuk mengetahui akurasi dari diagnosa yang dihasilkan sistem. Hasil perbandingan diagnosa sistem dengan kuisiner DASS 42 dapat dilihat melalui Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Perbandingan Diagnosa Sistem dengan Kuisiner DASS 42

| Mahasiswa | Diagnosa Sistem | DASS 42 | Kesimpulan |
|-----------|-----------------|--|-------------|
| 1 | Tenang | Depresi sedang, cemas ringan, stres sedang | Valid |
| 2 | Tenang | Depresi sedang, cemas sedang, stres sedang | Valid |
| 3 | Tegang | Depresi sangat berat, cemas sangat berat, stres berat | Valid |
| 4 | Tenang | Depresi sedang, cemas berat, stres sedang | Valid |
| 5 | Rileks | Depresi normal, cemas sedang, stres normal | Valid |
| 6 | Rileks | Depresi sangat berat, cemas berat, stres berat | Tidak valid |
| 7 | Rileks | Depresi ringan, cemas sedang, stres ringan | Valid |
| 8 | Rileks | Depresi sedang, cemas ringan, stres normal | Valid |
| 9 | Rileks | Depresi normal, cemas normal, stres sedang | Valid |
| 10 | Tegang | Depresi sangat berat, cemas sangat berat, stres sedang | Valid |
| 11 | Rileks | Depresi normal, cemas sedang, stres ringan | Valid |
| 12 | Rileks | Depresi berat, cemas normal, stres ringan | Valid |
| 13 | Rileks | Depresi normal, cemas sedang, stres normal | Valid |
| 14 | Tenang | Depresi sedang, cemas sangat berat, stres sedang | Valid |
| 15 | Rileks | Depresi normal, cemas normal, stres normal | Valid |
| 16 | Rileks | Depresi normal, cemas sedang, stres normal | Valid |
| 17 | Tenang | Depresi sedang, cemas normal, stres sedang | Valid |
| 18 | Cemas | Depresi sangat berat, cemas sedang, | Tidak Valid |

| Mahasiswa | Diagnosa Sistem | DASS 42 | Kesimpulan |
|------------------------|-----------------|--|-------------|
| | | stres sedang | |
| 19 | Tenang | Depresi sedang, cemas ringan, stres sedang | Valid |
| 20 | Tenang | Depresi normal, cemas sangat berat, stres ringan | Tidak Valid |
| Total Data Valid | | | 17 |
| Total Data Keseluruhan | | | 20 |

Berdasarkan Tabel 5, perhitungan dari akurasi metode *certainty factor* yang diterapkan dalam sistem menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Akurasi = \frac{\text{Jumlah data valid}}{\text{Total data keseluruhan}} \times 100\%$$

$$Akurasi = \frac{17}{20} \times 100\% = 85\%$$

Berdasarkan pengujian yang dilakukan terkait dengan akurasi metode *certainty factor* yang diterapkan dalam sistem memberikan hasil akurasi sebesar 85% dimana pengujian dilakukan dengan cara membandingkan hasil diagnosa sistem dari 20 subjek penelitian dengan hasil kuisioner DASS 42 dari 20 subjek tersebut. Diantara 20 subjek penelitian terdapat 3 data yang dinyatakan tidak valid karena ketidaksesuaian antara hasil diagnosa sistem dengan hasil kuisioner DASS 42 dan terdapat 17 data yang dinyatakan valid.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pada penelitian yang telah dilaksanakan mengenai sistem *smart healthcare* diagnosa tingkat stres menggunakan metode *certainty factor* dapat diambil kesimpulan mengenai tingkat akurasi metode *certainty factor* yang diterapkan dalam sistem dengan cara membandingkan hasil diagnosa sistem dengan hasil kuisioner DASS 42. Pengujian dilakukan terhadap 20 subjek dengan masing-masing subjek melakukan 5 kali pengambilan data di setiap parameternya. Kelima data di setiap parameter kemudian dihitung nilai rata-ratanya untuk mendapatkan nilai sensor yang lebih valid. Berdasarkan perbandingan hasil diagnosa sistem dengan hasil kuisioner DASS 42 untuk setiap subjeknya didapatkan kesimpulan bahwa tingkat akurasi yang didapatkan sebesar 85%.

References

- [1] M. Saifudin *et al.*, 'FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI TINGKAT STRES AKADEMIK PADA MAHASISWA PROGRAM STUDI S1 KEPERAWATAN NON REGULER', *ARTIKEL PENELITIAN Jurnal Kesehatan*, vol. 12, no. 2, 2023, doi: 10.37048/kesehatan.v12i2.267.
- [2] A. Rachmayanti and W. Wirawan, 'Implementasi Algoritma Advanced Encryption Standard (AES) pada Jaringan Internet of Things (IoT) untuk Mendukung Smart Healthcare', *Jurnal Teknik ITS*, vol. 11, no. 3, 2022, doi: 10.12962/j23373539.v11i3.97042.
- [3] R. S. Putra and Y. Yuhandri, 'Sistem Pakar dalam Menganalisis Gangguan Jiwa Menggunakan Metode Certainty Factor', *Jurnal Sistim Informasi dan Teknologi*, vol. 3, pp. 227–232, 2021, doi: 10.37034/jsisfotek.v3i4.70.
- [4] P. Madona and F. Deza, 'Alat Pendeteksi Tingkat Stress Manusia Berdasarkan Suhu Tubuh, Kelembaban Kulit, Tekanan Darah dan Detak Jantung.', *Jurnal Elektro dan Mesin Terapan*, vol. 3, no. 2, pp. 31–42, Nov. 2017, doi: 10.35143/elementer.v3i2.194.
- [5] S. Pigi, Y. Dwi Prasetyo, and A. B. Arifa, 'IMPLEMENTASI METODE CERTAINTY FACTOR PADA SISTEM PAKAR DIAGNOSIS GANGGUAN GIZI ANAK BALITA BERBASIS MOBILE IMPLEMENTATION OF CERTAINTY FACTOR IN MOBILE-BASED EXPERT SYSTEM FOR DIAGNOSING TODDLER'S NUTRITIONAL DISORDERS', 2022.
- [6] H. R. Fajrin, Sasmeri, L. R. Prilia, B. Untara, and M. A. F. Nurkholid, 'Fuzzy logic method-based stress detector with blood pressure and body temperature parameters', *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 14, no. 2, pp. 2156–2166, Apr. 2024, doi: 10.11591/ijece.v14i2.pp2156-2166.

Perbandingan Kesamaan Tugas Mahasiswa Berbasis *Text Summarization* Menggunakan Metode *Cosine Similarity*

I Gusti Ayu Purnami Pinatih^{a1}, I Gede Santi Astawa^{a2}, Ngurah Agus Sanjaya ER^{a3},
Ida Ayu Gde Suwiprabayanti Putra^{a4}

^aUniversitas Udayana, Program Studi Informatika
Jimbaran, Bali

1purnamipinatih029@student.unud.ac.id

2santiastawa@unud.ac.id

3agus_sanjaya@unud.ac.id

4iagsuwiprabayantiputra@unud.ac.id

Abstract

The manual process of checking student assignments for similarities can be time-consuming and labor-intensive. Implementing text summarization allows for the extraction of important information from lengthy student assignment texts, enabling the identification of similarities in submitted assignments. Therefore, this study applies text summarization methods to reduce the length of document answers, and then compares the summary results to expedite the assessment process. The data used was obtained from assignment archives of a particular course, consisting of 90 documents with 4 essay questions. Summarization is performed by ranking word weights generated using TF-IDF weighting according to the highest weights. The summary results are then compared using cosine similarity. The research results indicate that the system is capable of generating summaries consisting of the highest-weighted words, with evaluation results showing an accuracy of 94.4%. This means that the compared summaries have a fairly high degree of similarity. Meanwhile, the document similarity evaluation by experts shows that out of 105 data comparisons, 67 were found to be consistent, equating to 63.80%. This discrepancy is due to the system only comparing based on the words present in the summary, not based on their meaning.

Keywords: *summary, similarity, tf-idf, cosine similarity*

1. Pendahuluan

Seiring dengan perkembangan zaman mekanisme penilaian pembelajaran juga semakin beragam. Mengutip dari Permenristekdikti No. 44 Tahun 2015 tentang standar nasional pendidikan tinggi pada bagian kelima mengenai Standar penilaian pembelajaran pada pasal 21 ayat (1) terdapat beberapa mekanisme penilaian mulai dari observasi, tes tertulis, tes lisan dan angket. Pemberian tugas dalam bentuk pilihan ganda dan jawaban uraian menjadi metode penilaian tes tertulis. Terkait dengan adanya kebutuhan untuk mengevaluasi kualitas tugas mahasiswa dalam suatu mata kuliah, terutama pada mata kuliah yang menerapkan penugasan berupa jawaban uraian yang cukup panjang dan kompleks. Dalam proses penilaian, untuk memeriksa jawaban uraian memerlukan waktu yang jauh lebih lama dibandingkan memeriksa jawaban pilihan ganda. Ketika mahasiswa mengumpulkan tugas dalam sistem pembelajaran *online* tugas akan dikumpulkan dalam bentuk file yang akan di evaluasi oleh tenaga pendidik atau dosen pengampu dari mata kuliah yang bersangkutan. Evaluasi ini dapat dilakukan dengan memeriksa kesamaan pada tugas yang dikumpulkan oleh mahasiswa. Namun, proses memeriksa kesamaan pada tugas mahasiswa secara manual dapat memakan waktu dan tenaga yang banyak, terutama jika jumlah tugas yang harus diperiksa cukup banyak. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode yang lebih efisien dan efektif untuk melakukan evaluasi tugas mahasiswa tersebut. Untuk itu diperlukannya sebuah alat yang bisa digunakan untuk merangkum tugas tanpa mengurangi informasi penting didalamnya dan juga menghemat waktu dalam mengevaluasi.

Salah satu solusi yang dapat digunakan adalah dengan mengimplementasikan metode *text summarization*. Peringkasan teks otomatis (*Automatic Text Summarization*) merupakan teks yang dihasilkan dari satu atau lebih dokumen, yang mana hasil teks tersebut memberikan informasi penting dari sumber dokumen asli, serta secara otomatis hasil teks tersebut tidak lebih panjang dari setengah

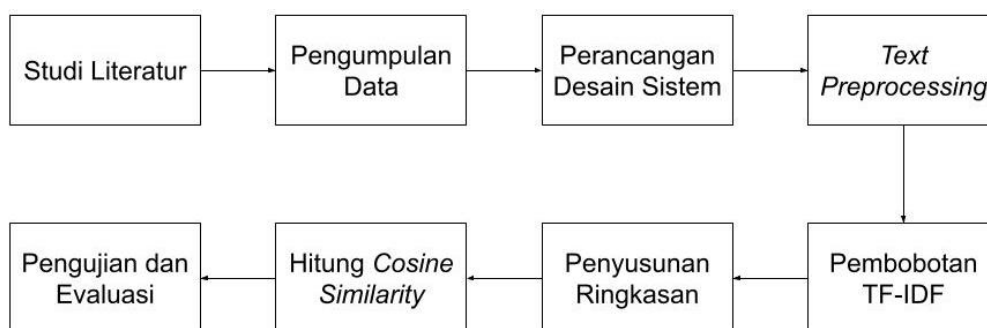
sumber dokumen aslinya [1]. Metode ini memungkinkan pengambilan informasi penting dari teks tugas mahasiswa yang panjang, sehingga dapat diidentifikasi apakah terdapat kesamaan atau plagiarisme pada tugas yang dikumpulkan oleh mahasiswa. Penelitian mengenai membandingkan kemiripan antara dua dokumen yang pernah dilakukan seperti penelitian mengenai Analisis Metode *Cosine Similarity* Pada Aplikasi Ujian *Online* Esai Otomatis (Studi Kasus Jti Polinema) [2]. Pada penelitian ini dilakukan pembuatan sistem ujian esai *online* dengan penilaian kemiripan jawaban menggunakan metode *Cosine similarity* dan persamaan *Term Frequency (TF)* untuk menyamakan frekuensi setiap kata yang terdapat dalam kalimat. Untuk pengujian akurasi metode dilakukan pengujian *Precision*, *Recall*, dan *f-measure* dan berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan metode yang telah dicoba diperoleh rata-rata 81%. Kemudian terdapat penelitian yang dilakukan untuk melakukan deteksi plagiarisme pada artikel junal menggunakan metode *cosine similarity* [3]. Pada penelitian ini dilakukan pengecekan plagiarisme terhadap suatu artikel yang kemudian isi artikel tersebut dilakukan perbandingan kemiripannya terhadap dokumen repositori untuk mengetahui nilai kemiripan dari artikel yang ingin di cek plagiarismenya. Namun dalam penelitian yang disebutkan diatas hanya membandingkan kemiripan dokumen tanpa melalui proses peringkasan teks.

Penelitian mengenai peringkasan teks yang pernah dilakukan yaitu peringkasan artikel berbahasa Indonesia dengan menerapkan algoritma *lexrank*. Pada penelitian ini dilakukan peringkasan sebanyak 300 artikel yang terdiri dari beberapa topik. Berdasarkan hasil pengujian pada penelitian tersebut hasil pengujian ringkasan yang terbentuk dipengaruhi oleh tingkat kompresi yang diterapkan semakin kecil tingkat kompresinya maka hasil pengujian nya semakin kecil pula. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian dengan kompresi 50% dengan rata-rata skor *f-measure* 67,53% dan pada kompresi 30% menghasilkan rata-rata skor *f-measure* sebesar 55,82% [4]. Berikutnya dilakukan penelitian mengenai penerapan peringkasan teks otomatis terhadap modul pembelajaran bahasa Indonesia menggunakan metode *cross latent semantic analysis*. Penelitian ini meringkas 10 buah modul pembelajaran yang menghasilkan rata-rata akurasi *f-measure* sebesar 38,53% pada *compression rate* 20% [5].

Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya, *text summarization* menunjukkan performa yang cukup baik dan dapat mempermudah dalam membaca isi dokumen. Sehingga pada penelitian ini penulis akan menerapkan *text summarization* dan melakukan perbandingan hasil ringkasan menggunakan metode *cosine similarity* untuk melakukan evaluasi tugas mahasiswa yang berupa jawaban teks uraian.

2. Metodologi Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat beberapa tahapan yang terdiri dari pengumpulan data, perancangan desain sistem, kemudian dilanjutkan dengan data *preprocessing*, selanjutnya melakukan pembobotan kata dengan menggunakan *TF-IDF*, lalu dilanjutkan dengan penyusunan ringkasan. Setelah hasil ringkasan terbentuk akan dilanjutkan dengan proses perbandingan kesamaan antar tugas menggunakan *cosine similarity* dan diikuti dengan evaluasi serta analisis hasil penelitian.



Gambar 1. Alur Penelitian

Pada grafik yang dapat dilihat pada gambar 1 menunjukkan tahapan-tahapan dari alur penelitian yang dilaksanakan dalam penelitian ini.

2.1 Data dan Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini berasal dari arsip tugas mahasiswa pada Mata Kuliah Matematika Diskrit Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Udayana. Jumlah data yang akan digunakan dalam penelitian adalah sebanyak 90 file tugas mahasiswa yang masing- masing file terdiri dari 4 soal jawaban teks uraian. Arsip data tugas mahasiswa berupa kumpulan file yang dikumpulkan dalam satu folder. Data tersebut berupa file jawaban

teks uraian dengan panjang kata dikisaran 20 – 250 kata. Data tersebut akan dibagi menjadi dua bagian yaitu data latih dan data uji, dimana 75 dokumen untuk melakukan pelatihan data dan 15 dokumen untuk melakukan pengujian.

2.2 Perancangan Desain Sistem

Pada tahap ini dilakukan proses perancangan terhadap sistem yang akan dibuat. Dilakukan beberapa langkah diantaranya analisis kebutuhan sistem, *text preprocessing*, pembobotan kata, penyusunan ringkasan, perhitungan *cosine similarity* dan implementasi sistem.

a. Analisis Kebutuhan Sistem

Analisis kebutuhan sistem yang dilakukan pada penelitian ini dibagi menjadi analisis kebutuhan fungsional dan analisis kebutuhan non fungsional.

1. Kebutuhan Fungsional

Analisis kebutuhan Fungsional meliputi kegunaan dari sistem. Pada kebutuhan fungsional sistem ini meliputi :

Tabel 1. Analisis Kebutuhan Fungsional

| | |
|-------------------------------------|---|
| Preprocessing | Sistem harus mampu mengolah dokumen dalam format csv. Sistem mampu melakukan <i>Preprocessing</i> terhadap dataset. |
| Pembobotan kata | Sistem dapat menghitung skor <i>tf-idf</i> untuk setiap kata dalam dokumen. |
| Peringkasan dokumen | Mampu menghasilkan ringkasan dokumen berdasarkan skor <i>tf-idf</i> tertinggi hingga terendah |
| Perhitungan kesamaan dokumen | Sistem dapat menghitung kesamaan antara dokumen secara berpasangan untuk masing-masing soal. |

Pada tabel 1 dapat dilihat bahwa tabel menunjukkan jenis kebutuhan dari sistem yang terdiri dari empat proses utama yang dilakukan sistem.

2. Kebutuhan Non Fungsional

Analisis kebutuhan non-fungsional meliputi komponen pendukung yang digunakan dalam menunjang penelitian ini.

Tabel 2. Analisis Kebutuhan Non-fungsional

| Perangkat | Penjelasan |
|---------------------------|--|
| Windows 10 | Sistem operasi |
| <i>Visual Studio Code</i> | <i>Code editor</i> yang digunakan dalam pembuatan sistem berbasis <i>website</i> |
| <i>Python</i> | Bahasa pemrograman komputer yang digunakan untuk pengembangan sistem |
| <i>Flask</i> | <i>Framework python</i> untuk pengembangan aplikasi berbasis <i>website</i> |

Pada tabel 2 dapat dilihat bahwa jenis kebutuhan dari sistem yang dari empat komponen yang digunakan dalam membangun sistem nantinya.

b. Text Preprocessing

Text Preprocessing merupakan tahapan dari proses awal terhadap teks untuk mempersiapkan teks menjadi data yang akan diolah lebih lanjut. Suatu teks tidak dapat diproses langsung oleh algoritma pencarian, oleh karena itu dibutuhkan *preprocessing text* untuk mengubah teks menjadi data numerik [6]. *Text Preprocessing* yang dilakukan pada penelitian ini melalui beberapa tahapan diantaranya :

1. *Case folding* : mengubah semua huruf dalam dokumen menjadi huruf kecil. Hanya huruf a sampai dengan z yang diterima [7].
2. *Cleaning* : menghilangkan karakter khusus dalam dokumen seperti tanda baca.
3. *Tokenization* : memisahkan kata dalam kalimat atau paragraf menjadi bentuk kata atau token[8].

4. *Stopword Removal* : menghilangkan kata-kata umum yang tidak memiliki makna khusus seperti kata penghubung[9].
5. *Negation Handling* : menangani kata kata yang memiliki makna negasi. Menghubungkan kata negasi dengan kata setelahnya dan dijadikan sebagai satu kata.

c. Pembobotan Kata

Metode pembobotan kata yang digunakan dalam penelitian ini adalah *tf-idf*. Metode *TF-IDF* merupakan metode untuk menghitung bobot suatu kata (*term*) terhadap dokumen. Metode ini menggabungkan dua konsep untuk perhitungan bobot, yaitu frekuensi kemunculan sebuah kata didalam sebuah dokumen tertentu dan *inverse* frekuensi dokumen yang mengandung kata tersebut [8]. Frekuensi kemunculan kata di dalam dokumen yang diberikan menunjukkan seberapa penting kata tersebut di dalam dokumen [10]. Metode ini akan menghitung bobot setiap *term* di dokumen dengan menghitung nilai *tf* yang diperoleh dari :

$$tf_d = \frac{\text{jumlah munculnya kata } t \text{ dalam dokumen}}{\text{total jumlah seluruh kata dalam dokumen}}$$

Kemudian nilai *tf* dikalikan dengan nilai *idf* yang diperoleh dari:

$$IDF = \log_2 \frac{d}{df} + 1$$

Sehingga diperoleh persamaan dari perhitungan *tf-idf* adalah seperti yang ditunjukkan pada persamaan 1.

$$W_d = t f * IDF \tag{1}$$

Keterangan :

- W* = bobot dokumen ke –d
- d* = dokumen
- t* = kata kunci
- tf* = *terms frequency* (jumlah kemunculan kata)
- df* = jumlah dokumen yang mengandung kata kunci.
- IDF* = *Inverse Document Frequency*

Data yang telah melalui proses *Preprocessing* akan dihitung bobotnya untuk tiap kata didalam masing masing dokumen di setiap soal. Contoh kata “matematika” muncul sebanyak 2 kali pada dokumen D dengan jumlah dokumen sebanyak 15 dokumen, serta terdapat 5 dokumen yang mengandung kata tersebut. Frekuensi kemunculan kata di tiap dokumen dibagi dengan total jumlah kata dalam dokumen. Maka nilai *tf-idf* untuk kata “matematika” pada dokumen D adalah sebagai berikut :

$$TF*IDF=2*\log 15/5 + 1 = 1,954$$

Dengan menerapkan persamaan (1) diatas maka ditemukan nilai *tf-idf* untuk kata “matematika” pada dokumen D adalah 1,954.

d. Penyusunan Ringkasan

Setelah mendapatkan bobot untuk setiap kata, bobot tersebut diurutkan berdasarkan bobot tertinggi ke bobot terendah. Pembentukan ringkasan dilakukan dengan mengurangi jumlah kata dalam dokumen. Secara umum teks dikatakan ringkasan apabila teks lebih pendek dari teks aslinya dan jga memuat informasi penting dari teks aslinya. *Compression ratio* dihasilkan dari pembagian antara panjang kata dalam ringkasan dengan panjang kata dalam teks aslinya. [1]. Rasio retensi menentukan seberapa banyak informasi yang disimpan. Ringkasan yang baik adalah ringkasan yang memiliki rasio retensi tinggi dan *compression ratio* rendah [11]. Pada penelitian ini jumlah kata yang dikurangi atau biasa disebut *compression ratio* untuk menghasilkan ringkasan adalah sebanyak setengah dari jumlah kata pada dokumen asli. Setelah menentukan *compression ratio* maka akan dibentuk ringkasan menurut bobot tertinggi hingga terendah. *Compression ratio* dapat dihitung dengan mengikuti persamaan 3 sebagai berikut.

$$\text{compression ratio} = \frac{\text{panjang kata ringkasan}}{\text{total kata keseluruhan}} \tag{2}$$

Sebagai contoh jika total kata dalam dokumen asli adalah 30 kata dan panjang ringkasan adalah 15 kata maka *compression rasio* dari ringkasan tersebut adalah ½.

e. Perhitungan *Cosine Similarity*

Metode *cosine similarity* merupakan metode yang digunakan untuk menghitung *similarity* (tingkat kesamaan) antar dua buah objek. Dalam kasus analisis perbandingan kesamaan tugas mahasiswa, *cosine similarity* dapat digunakan untuk membandingkan kesamaan antara tugas mahasiswa yang telah diubah menjadi vektor representasi kata-kata. Secara umum penghitungan metode ini didasarkan pada *vector space similarity measure*. Metode *cosine similarity* ini menghitung *similarity* antara dua buah objek yang dinyatakan dalam dua buah vektor dengan menggunakan *keywords* (kata kunci) dari sebuah dokumen sebagai ukuran[12]. Adapun rumus dari perhitungan *cosine similarity* dapat dilihat pada persamaan (3) dibawah ini.

$$\text{Cos } a = \frac{A \cdot B}{|A||B|} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \times B_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (A_i)^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^n (B_i)^2}} \quad (3)$$

Keterangan :

A = Vektor A, yang akan dibandingkan kemiripan

B = Vektor B, yang akan dibandingkan kemiripan

A·B = *dot product* antara vektor A dan vektor B

A.B = *dot product* antara vektor A dan vektor B

|A|= Panjang vektor A

|B|= Panjang vektor B

|A||B|= *cross product* antara |A| dan |B|

Perhitungan *cosine similarity* diawali dengan menghitung *dot product* dari vektor frekuensi data untuk dua dokumen. *Dot product* merupakan jumlah perkalian antara frekuensi kata yang sama di kedua dokumen. Kemudian menghitung panjang (magnitudo) vektor frekuensi kata untuk masing-masing dokumen. *Cosine similarity* dihitung sebagai *dot product* dibagi dengan hasil kali panjang vektor. Jika salah satu dokumen memiliki panjang vektor 0 (dokumen kosong) maka nilai *cosine* diatur menjadi 0 untuk menghindari pembagian dengan nol. Perhitungan dilakukan untuk seluruh pasangan dokumen yang kemudian disimpan kedalam tabel *similarity*, selain itu untuk pasangan dokumen yang memiliki nilai *similarity* terbesar akan ditampilkan setelah perhitungan kemiripan untuk setiap soal selesai dilakukan.

Sebagai contoh jika terdapat dokumen “saya suka makan ayam” dan “saya suka makan” jika dihitung mengikuti persamaan 3 akan menghasilkan nilai sebagai berikut.

| term | saya | suka | makan | ayam |
|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|
| doc 1 (A) | 1 | 1 | 1 | 1 |
| doc 2 (B) | 1 | 1 | 0 | 1 |

Maka *dot product* dari vektor A dan B adalah

$$A \cdot B = (1 \times 1) + (1 \times 1) + (1 \times 0) + (1 \times 1) = 3$$

Dengan panjang vektor A dan B

$$|A| = \sqrt{(1^2 + 1^2 + 1^2 + 1^2)} = \sqrt{4} = 2$$

$$|B| = \sqrt{(1^2 + 1^2 + 0^2 + 1^2)} = \sqrt{3} = 1.732$$

Kemudian nilai *cosine similarity* dari dua dokumen tersebut adalah

$$\text{cosine similarity} = \frac{3}{2 \times 1.732} = \frac{3}{3.464} = 0.866$$

Berdasarkan persamaan 2 diperoleh nilai *cosine similarity* 0.866 yang menunjukkan kedua dokumen memiliki kemiripan yang cukup tinggi karena nilai kemiripannya mendekati 1.

f. Implementasi Sistem

Setelah melalui proses perancangan, pada tahap implementasi ini sistem yang dibangun merupakan sebuah aplikasi sederhana berbasis *website*. Implementasi dilakukan dengan menggunakan bahasa pemrograman *Python* menggunakan *Visual Studio Code* sebagai *code editor* dan *framework Flask*. *Flask* adalah sebuah *framework* dalam *python* untuk pengembangan aplikasi *website*. Sistem yang dibangun akan menerima input berupa file dengan format *csv* yang memuat beberapa kolom berisi teks uraian. Kemudian sistem akan memproses data dan menghasilkan output berupa tabel yang memuat hasil perbandingan kemiripan keseluruhan dokumen.

2.3 Desain Evaluasi

Evaluasi hasil ringkasan akan dilakukan dibedakan menjadi dua bagian yaitu evaluasi hasil ringkasan dan evaluasi kemiripan jawaban oleh pakar.

a. Evaluasi Hasil Ringkasan Sistem

Untuk mengetahui hasil ringkasan yang dihasilkan sistem dilakukan evaluasi dengan cara membandingkan ringkasan yang dihasilkan sistem (tanpa *library*) dengan ringkasan yang dihasilkan dengan menggunakan *library*. Perbandingan hasil ringkasan dengan *library* berfungsi untuk mengetahui apakah fungsi yang dibuat sendiri ini sudah mampu menghasilkan hasil yang mirip atau sama dengan fungsi yang sudah ada. Performa hasil ringkasan diukur dari nilai *cosine similarity* yang dihasilkan antara hasil ringkasan dengan dan tanpa bantuan *library*. Jika nilai *cosine similarity* yang dihasilkan mendekati atau sama dengan satu (1) maka dokumen yang dibandingkan tersebut memiliki kesamaan. Sebaliknya jika nilai kemiripannya mendekati nol (0) maka dokumen yang dibandingkan tersebut tidak memiliki kemiripan. Setelah mendapatkan nilai kemiripan maka dapat dihitung akurasi ringkasannya dengan persamaan 4.

$$akurasi = \frac{total\ jumlah\ nilai\ kemiripan}{total\ jumlah\ dokumen\ untuk\ seluruh\ soal} \times 100 \quad (4)$$

b. Evaluasi Perbandingan Kesamaan Jawaban

Ringkasan yang sudah dihasilkan sistem kemudian dilakukan perbandingan kesamaan jawaban antara seluruh dokumen di tiap soal. Perbandingan kesamaan jawaban ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui seberapa tingkat kemiripan jawaban-jawaban yang telah dihasilkan dari seluruh dataset. Pengujian dilakukan dengan membandingkan similaritas antar dokumen. Dari hasil perhitungan *cosine similarity* yang sudah dihasilkan kemudian diurutkan dari kemiripan tertinggi hingga terendah. Apabila total similaritas yang didapatkan adalah mendekati nol (0) maka dokumen yang diolah tidak memiliki kesamaan dan jika nilai yang didapatkan maksimal adalah 1 maka dokumen tersebut memiliki kemiripan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data arsip tugas mahasiswa yang terdiri dari 4 soal dengan jawaban teks uraian. File tugas tersebut dikumpulkan kedalam beberapa folder sesuai kelas dengan jumlah 90 dokumen. Kemudian data tersebut dikelompokkan menjadi data latih sejumlah 75 file dan 15 file untuk data uji kedalam format file csv yang Adapun soal dan contoh jawaban data yang diperoleh dari file jawaban tugas mahasiswa adalah sebagai berikut :

Tabel 3. Contoh soal

| Q1 | Q2 | Q3 | Q4 |
|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| Apa yang dimaksud himpunan kosong? | Jelaskan pemahaman fungsi rekursif! | Jelaskan mengenai proporsi majemuk! | Bagaimana algoritma konversi bilangan heksadesimal ke oktal? |

Pada tabel 3 memuat pertanyaan dalam dataset dimana Q melambangkan *Question*.

Tabel 4. Contoh jawaban

| A1 | A2 | A3 | A4 |
|--|--|---|---|
| Himpunan kosong adalah himpunan yang tidak memiliki anggota satu pun, atau sama sekali tidak memiliki anggota. Dalam notasi himpunan, himpunan kosong biasanya dilambangkan dengan simbol ? atau {}. | Fungsi rekursif adalah jenis fungsi pada pemrograman yang memanggil dirinya sendiri untuk menyelesaikan masalah yang lebih besar. Fungsi ini biasanya digunakan untuk menghitung pangkat, faktorial dan fibonnaci. | Proposisi majemuk merupakan gabungan dari beberapa proposisi atomik yang menghasilkan sebuah nilai kebenaran baru. Proposisi atomik dapat digabungkan dengan menggunakan operator logika. | Langkah awal yaitu dengan mengkonversi bilangan heksadesimal ke desimal terlebih dahulu. Kemudian kita hitung total nilai decimal tersebut, Langkah kedua yaitu konversi dari desimal ke oktal, dengan membagi hasil desimal yang sudah kita dapatkan dengan 8. |

Pada tabel 4 memuat contoh jawaban yang terdapat dalam dataset dimana A melambangkan *answer* atau jawaban.

3.2 Data Preprocessing

Pada tahap *preprocessing* ini data akan melewati proses perubahan ke huruf kecil, *tokenization*, *cleaning* data, menghapus tanda baca, menghapus angka, menghilangkan karakter khusus, penghapusan *stopword* dan penanganan negasi. Berikut merupakan contoh perbandingan data sebelum dan setelah melalui *preprocessing* ditunjukkan pada tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan Sebelum dan Setelah *Preprocessing*

| Sebelum | Sesudah |
|---|---|
| Himpunan kosong adalah himpunan yang tidak memiliki anggota satu pun, atau sama sekali tidak memiliki anggota. Dalam notasi himpunan, himpunan kosong biasanya dilambangkan dengan simbol \emptyset atau $\{\}$. | himpunan kosong himpunan tidakmemiliki anggota tidakmemiliki anggota notasi himpunan himpunan kosong lambang simbol |

Pada tabel 5 menunjukkan salah satu jawaban dalam dataset setelah melalui tahap *preprocessing*.

3.3 Pembobotan Kata

Data yang sudah melalui tahap *preprocessing* kemudian dilakukan pembobotan kata untuk menentukan bobot tertinggi hingga terendah. Pembobotan kata ini menggunakan *tf-idf* untuk mengubah data teks menjadi data numerik. Pada tahap ini dilakukan perhitungan *tf* dan *idf* dilakukan menggunakan fungsi yang dibuat sendiri mengikuti persamaan (1) yang kemudian dikalikan sehingga menghasilkan representasi numerik dari data.

| | algoritma | konversi | bilangan | hexadesimal | oktal | mengubah | biner | pisahkan | angka | koversi |
|----|-----------|----------|----------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 0 | 0.300105 | 0.172884 | 0.669392 | 0.425867 | 0.267757 | 0.272042 | 0.323883 | NaN | NaN | NaN |
| 1 | NaN | NaN | 0.096435 | 0.153379 | 0.192869 | NaN | 0.349947 | 0.195956 | 0.538320 | 0.557922 |
| 2 | NaN | 0.131982 | 0.204410 | 0.081278 | 0.255512 | NaN | 0.309071 | NaN | NaN | NaN |
| 3 | NaN | 0.053351 | 0.371829 | NaN | 0.041314 | NaN | 0.299847 | 0.083951 | 0.076875 | NaN |
| 4 | NaN | 0.070922 | 0.384448 | NaN | 0.109842 | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN |
| 5 | NaN | NaN | 0.238968 | NaN | NaN | 0.060698 | NaN | NaN | 0.111164 | NaN |
| 6 | NaN | 0.301767 | NaN | NaN | 0.233683 | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN |
| 7 | NaN | 0.091247 | 0.565282 | 0.112385 | 0.070660 | NaN | 0.170944 | NaN | NaN | NaN |
| 8 | NaN | 0.298286 | 0.115494 | 0.183693 | 0.115494 | NaN | 0.139703 | NaN | NaN | NaN |
| 9 | NaN | 0.140462 | 0.543857 | NaN | 0.108771 | NaN | 0.219286 | NaN | NaN | NaN |
| 10 | NaN | 0.181912 | 0.563477 | 0.336078 | 0.211304 | NaN | 0.340795 | NaN | 0.131060 | NaN |
| 11 | NaN | NaN | 0.138544 | NaN | 0.138544 | 0.281523 | NaN | NaN | NaN | NaN |
| 12 | 0.091567 | 0.052750 | 0.285939 | 0.064969 | 0.204242 | NaN | 0.098822 | 0.083004 | NaN | NaN |
| 13 | NaN | NaN | 0.356636 | NaN | 0.178318 | NaN | 0.215696 | NaN | NaN | NaN |
| 14 | 0.098234 | NaN | 0.306760 | NaN | 0.219114 | 0.089048 | 0.106018 | 0.178097 | 0.081543 | NaN |

15 rows x 124 columns

Gambar 2 Hasil *Tf-idf*

Pada gambar 2 dapat dilihat hasil dari pembobotan kata menggunakan *tf-idf* yang menunjukkan bobot dari tiap kata dalam dokumen. NaN dalam data berarti kata tersebut tidak muncul dalam dokumen bersangkutan sehingga tidak memuat nilai didalamnya. Sebagai perbandingan, pembobotan kata *tf-idf* juga dilakukan dengan menggunakan fungsi *TfidfVectorizer* dari pustaka *sklearn* dengan hasil yang ditunjukkan pada gambar 3.

| | algoritma | angka | baca | bagiannya | basis | bentuk | bergerak | bersisa | berurutan | bilang |
|----|-----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|
| 0 | 0.300105 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 1 | 0.000000 | 0.538320 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 2 | 0.000000 | 0.000000 | 0.128362 | 0.000000 | 0.256725 | 0.147826 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 3 | 0.000000 | 0.076875 | 0.000000 | 0.119512 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.119512 | 0.000000 | 0.119512 |
| 4 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.158873 | 0.000000 |
| 5 | 0.000000 | 0.111164 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.086409 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 6 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 7 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 8 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.580209 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 9 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 10 | 0.000000 | 0.131060 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 11 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 12 | 0.091567 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 13 | 0.000000 | 0.000000 | 0.223956 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 14 | 0.098234 | 0.081543 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |

15 rows x 124 columns

Gambar 3 Hasil *Tf-idf* (*sklearn*)

Berdasarkan gambar 2 dan 3 dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan bobot antara hasil *tf-idf* dengan menggunakan *library* dan fungsi yang dibuat sendiri. Perbedaan ini bisa disebabkan karena *library sklearn* memiliki tokenisasi yang lebih canggih sedangkan fungsi yang dibuat sendiri hanya menerapkan '*split()*' sederhana yang memisahkan kata berdasarkan spasi. Serta dalam *library sklearn* menerapkan normalisasi yang secara otomatis menangani beberapa kasus tepi dan normalisasi tambahan yang tidak ada dalam fungsi buatan sendiri sehingga terdapat perbedaan bobot yang dihasilkan.

3.4 Pembentukan Ringkasan

Pembentukan ringkasan dilakukan dengan menentukan terlebih dahulu berapa *compression rate* yang digunakan kemudian dikalikan dengan total jumlah kata dalam dokumen. Berikutnya bobot *tf-idf* yang telah diperoleh dalam tahap sebelumnya akan diurutkan dari bobot tertinggi hingga terendah. Adapun hasil ringkasan yang terbentuk ditunjukkan pada tabel 6.

Tabel 6 Contoh Hasil Ringkasan

| Nomor soal | Hasil Ringkasan |
|------------|--|
| A1 | himpunan dinotasikan kosong dimana anggota |
| A1 | himpunan dimana dilambangkan anggota |
| A2 | solusi pemrogramman dihentikan berdasarkan tercapai konteks menentukan mencapai |
| A2 | dimana penggunaan penyetop tidak lagi solusinya diperoleh menerapkan langkah menggiring penyetopnya mencerminkan fungsi rekursif |
| A3 | kebenaran berdasarkan proposisi premis nilai kalimat kebenarannya dianggap true false pemahaman definisi menentukan kesimpulan majemuk memiliki dimana bernilai gabungan |
| A3 | hasil pengkombinasian |
| A4 | bilangan hexadesimal biner algoritma mengubah oktal konversi |
| A4 | koversi angka biner kedalam pisahkan oktal gabungan konversikan hexadesimal |

Tabel 6 menunjukkan contoh hasil ringkasan yang terbentuk dari bobot *tf-idf* yang dibuat menggunakan fungsi manual tanpa menggunakan *library*. Berdasarkan hasil ringkasan yang terbentuk dapat dilihat bahwa hasil ringkasan yang dihasilkan tidak membentuk satu kalimat utuh. Hal tersebut bisa terjadi karena ringkasan dibentuk dengan mengurutkan bobot tertinggi ke terendah tidak memerhatikan urutan kata dalam kalimat. Sebagai perbandingan akan dibandingkan dengan hasil ringkasan *library* apakah hasil ringkasan yang dihasilkan sudah sesuai atau berbeda.

Tabel 7 Contoh Hasil Ringkasan (*tf-idf sklearn*)

| Nomor soal | Hasil Ringkasan |
|------------|--|
| A1 | himpunan dinotasikan kosong dimana anggota |
| A1 | himpunan dimana dilambangkan anggota |
| A2 | solusi berdasarkan pemrogramman dihentikan tercapai mencapai konteks menentukan |
| A2 | dimana solusinya mencerminkan menerapkan menggiring diperoleh penggunaan penyetop penyetopnya langkah tidak lagi rekursif fungsi |
| A3 | berdasarkan kebenaran proposisi premis nilai kalimat definisi false kesimpulan pemahaman menentukan kebenarannya dianggap true majemuk dimana memiliki bernilai operator |
| A3 | hasil pengkombinasian |
| A4 | bilangan hexadesimal biner algoritma mengubah oktal konversi |
| A4 | koversi angka biner kedalam pisahkan oktal konversikan gabungkan hexadesimal |

Tabel 7 menampilkan hasil ringkasan menggunakan library. Berdasarkan hasil ringkasan yang dihasilkan dapat dilihat bahwa hasil ringkasan yang dihasilkan oleh *tf-idf* dengan fungsi buatan sendiri pada tabel 6 dan *tf-idf* menggunakan *library* pada tabel 7 sedikit memiliki perbedaan, hal tersebut dapat terjadi karena bobot kata yang dihasilkan pada gambar 2 dan 3 juga memiliki perbedaan. Ringkasan yang dihasilkan tidak membentuk satu kalimat yang utuh. Hal tersebut dikarenakan ringkasan yang disusun berdasarkan bobot tertinggi ke bobot terendah tanpa memedulikan susunan kata dalam kalimat.

3.5 Perhitungan Cosine Similarity

Hasil ringkasan yang telah terbentuk pada tahap sebelumnya kemudian dilakukan perbandingan antara dokumen satu dengan yang lainnya untuk mengetahui tingkat kemiripan antar dokumen. Dokumen dari tiap pertanyaan akan dibandingkan berpasangan antara dokumen A dengan B, dokumen A dengan C, hingga seterusnya. Berdasarkan hasil perbandingan dokumen diperoleh hasil seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.

| doc | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 0 | 0,89 | 0,83 | 0,84 | 0,76 | 0,84 | 0,89 | 0,53 | 0,68 | 0,86 | 0,87 | 0,85 | 0,81 | 0,82 | 0,86 |
| 2 | 0,89 | 0 | 0,76 | 0,81 | 0,7 | 0,73 | 0,91 | 0,54 | 0,58 | 0,78 | 0,79 | 0,77 | 0,78 | 0,83 | 0,8 |
| 3 | 0,83 | 0,76 | 0 | 0,8 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,48 | 0,67 | 0,77 | 0,78 | 0,83 | 0,75 | 0,73 | 0,81 |
| 4 | 0,84 | 0,81 | 0,8 | 0 | 0,73 | 0,81 | 0,83 | 0,54 | 0,63 | 0,78 | 0,79 | 0,84 | 0,75 | 0,83 | 0,85 |
| 5 | 0,76 | 0,7 | 0,7 | 0,73 | 0 | 0,81 | 0,77 | 0,44 | 0,68 | 0,7 | 0,71 | 0,79 | 0,74 | 0,64 | 0,74 |
| 6 | 0,84 | 0,73 | 0,8 | 0,81 | 0,81 | 0 | 0,82 | 0,48 | 0,74 | 0,78 | 0,79 | 0,86 | 0,78 | 0,7 | 0,86 |
| 7 | 0,89 | 0,91 | 0,8 | 0,83 | 0,77 | 0,82 | 0 | 0,54 | 0,67 | 0,82 | 0,84 | 0,88 | 0,82 | 0,83 | 0,83 |
| 8 | 0,53 | 0,54 | 0,48 | 0,54 | 0,44 | 0,48 | 0,54 | 0 | 0,37 | 0,49 | 0,5 | 0,49 | 0,47 | 0,52 | 0,58 |
| 9 | 0,68 | 0,58 | 0,67 | 0,63 | 0,68 | 0,74 | 0,67 | 0,37 | 0 | 0,71 | 0,73 | 0,74 | 0,64 | 0,6 | 0,65 |
| 10 | 0,86 | 0,78 | 0,77 | 0,78 | 0,7 | 0,78 | 0,82 | 0,49 | 0,71 | 0 | 0,99 | 0,78 | 0,77 | 0,8 | 0,82 |
| 11 | 0,87 | 0,79 | 0,78 | 0,79 | 0,71 | 0,79 | 0,84 | 0,5 | 0,73 | 0,99 | 0 | 0,8 | 0,78 | 0,81 | 0,83 |
| 12 | 0,85 | 0,77 | 0,83 | 0,84 | 0,79 | 0,86 | 0,88 | 0,49 | 0,74 | 0,78 | 0,8 | 0 | 0,81 | 0,79 | 0,82 |
| 13 | 0,81 | 0,78 | 0,75 | 0,75 | 0,74 | 0,78 | 0,82 | 0,47 | 0,64 | 0,77 | 0,78 | 0,81 | 0 | 0,72 | 0,79 |
| 14 | 0,82 | 0,83 | 0,73 | 0,83 | 0,64 | 0,7 | 0,83 | 0,52 | 0,6 | 0,8 | 0,81 | 0,79 | 0,72 | 0 | 0,81 |
| 15 | 0,86 | 0,8 | 0,81 | 0,85 | 0,74 | 0,86 | 0,83 | 0,58 | 0,65 | 0,82 | 0,83 | 0,82 | 0,79 | 0,81 | 0 |

Gambar 4 Matriks Nilai Kesamaan Jawaban Nomor 1

Pada gambar 4 menunjukkan hasil perbandingan kemiripan jawaban untuk jawaban nomor 1 dapat diketahui bahwa untuk jawaban nomor 1 diantara dokumen 1 – 15 memiliki nilai kemiripan yang beragam. Untuk melihat nilai kemiripan terbesar dari seluruh pasangan jawaban dapat dilihat pada tabel 8.

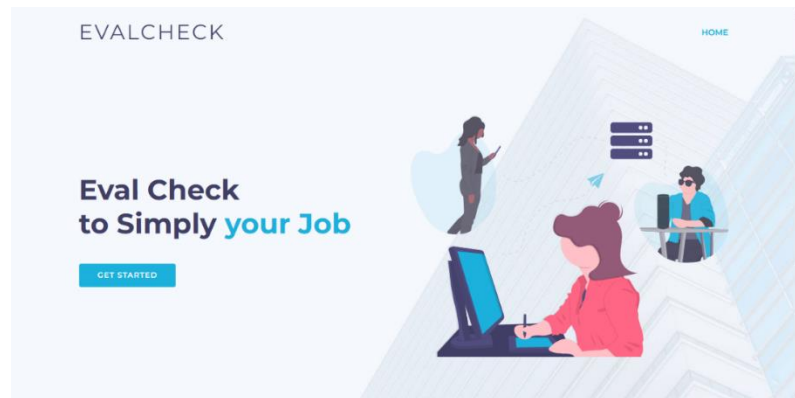
Tabel 8 Kemiripan Hasil Jawaban

| Kolom Soal | Dokumen 1 | Dokumen 2 | Kemiripan Terbesar |
|------------|-----------|-----------|--------------------|
| A1 | 10 | 11 | 0.985184 |
| A2 | 3 | 15 | 0.861892 |
| A3 | 8 | 9 | 0.799305 |
| A4 | 1 | 11 | 0.910191 |

Setelah mengetahui nilai kemiripan dari masing masing dokumen maka dapat dilihat pada tabel 8 menunjukkan pasangan dokumen dari masing masing soal yang memiliki nilai kemiripan terbesar. Dimana kemiripan terbesar dari jawaban nomor 1 terdapat pada pasangan dokumen 10 dan 11 sebesar 98% yang artinya ddokumen tersebut sangat mirip.

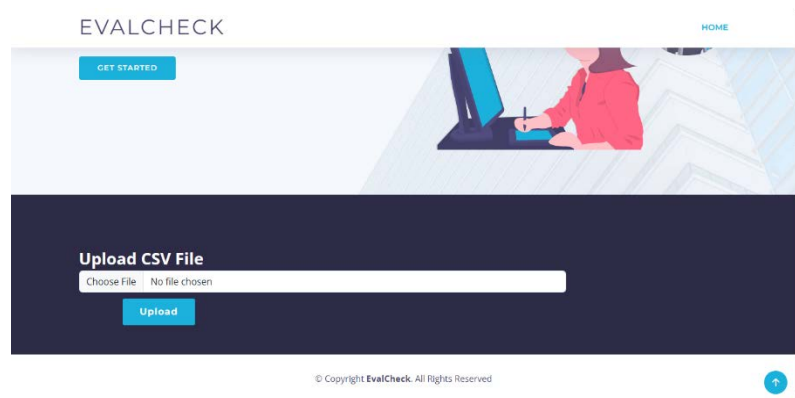
3.6 Implementasi Sistem

Sistem yang dikembangkan adalah sistem aplikasi sederhana berbasis *website* yang bernama EvalCheck. Sistem ini dikembangkan dengan menggunakan *code editor VS Code* dengan bahasa pemrograman *Python* dan *framework Flask* yang terdiri dari dua halaman dan memiliki satu fitur utama yaitu *upload file csv*. Dengan tampilan yang ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 5 Tampilan Awal Sistem

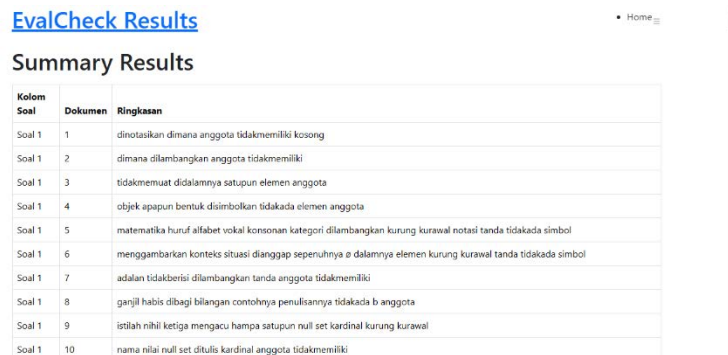
Gambar 5 merupakan halaman pertama dalam sistem yang memuat tampilan awal dari sistem yang dikembangkan. Dalam halaman ini terdapat sebuah tombol 'Get Started' yang berfungsi untuk mengarahkan pengguna ke menu utama dari sistem EvalCheck.



Gambar 6 Tampilan menu utama sistem

Berikutnya pada gambar 6 menampilkan fitur utama dari sistem EvalCheck. Pada halaman ini pengguna dapat mengunggah file berupa csv kedalam sistem dengan menekan tombol 'Upload'. Kemudian pengguna dapat memilih file dataset csv yang dimiliki. Setelah pengguna

memilih file yang diinginkan pengguna dapat menekan tombol *upload*. Selanjutnya pengguna akan diarahkan ke halaman berikutnya.



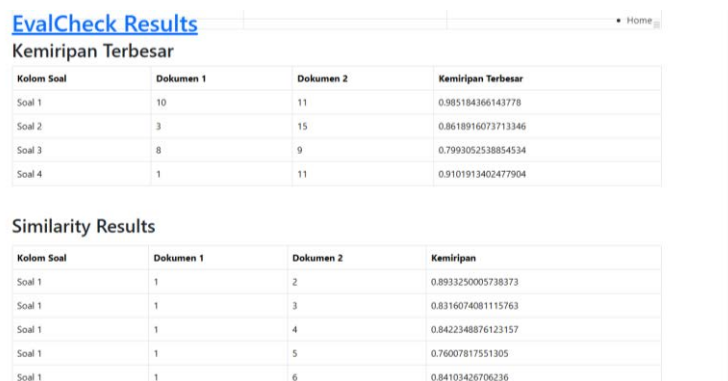
EvalCheck Results • Home

Summary Results

| Kolom Soal | Dokumen | Ringkasan |
|------------|---------|---|
| Soal 1 | 1 | dinotasikan dimana anggota tidakmemiliki kosong |
| Soal 1 | 2 | dimana dilambangkan anggota tidakmemiliki |
| Soal 1 | 3 | tidakmemuat didalamnya satupun elemen anggota |
| Soal 1 | 4 | objek apapun bentuk disimbolkan tidakada elemen anggota |
| Soal 1 | 5 | matematika huruf alfabet vokal konsonan kategori dilambangkan kurung kurawal notasi tanda tidakada simbol |
| Soal 1 | 6 | menggambarkan konteks situasi dianggap sepenuhnya e dalamnya elemen kurung kurawal tanda tidakada simbol |
| Soal 1 | 7 | adalah tidakberisi dilambangkan tanda anggota tidakmemiliki |
| Soal 1 | 8 | ganjil habis dibagi bilangan contohnya penulisannya tidakada b anggota |
| Soal 1 | 9 | istilah nihil ketiga mengacu hampa satupun null set kardinal kurung kurawal |
| Soal 1 | 10 | nama nilai null set ditulis kardinal anggota tidakmemiliki |

Gambar 7 Halaman Hasil Ringkasan

Gambar 7 menunjukkan halaman hasil ringkasan. File dataset yang telah di unggah kedalam sistem akan diproses dan menghasilkan output berupa tabel dengan rincian terdapat atribut kolom soal, dokumen dan ringkasan.



EvalCheck Results • Home

Kemiripan Terbesar

| Kolom Soal | Dokumen 1 | Dokumen 2 | Kemiripan Terbesar |
|------------|-----------|-----------|--------------------|
| Soal 1 | 10 | 11 | 0.985184366143778 |
| Soal 2 | 3 | 15 | 0.8618916073713346 |
| Soal 3 | 8 | 9 | 0.7993052538854534 |
| Soal 4 | 1 | 11 | 0.9101913402477904 |

Similarity Results

| Kolom Soal | Dokumen 1 | Dokumen 2 | Kemiripan |
|------------|-----------|-----------|--------------------|
| Soal 1 | 1 | 2 | 0.8933250005738373 |
| Soal 1 | 1 | 3 | 0.8316074081115763 |
| Soal 1 | 1 | 4 | 0.8422348876123157 |
| Soal 1 | 1 | 5 | 0.76007817551305 |
| Soal 1 | 1 | 6 | 0.84103426706236 |

Gambar 8 Halaman Hasil Kemiripan Ringkasan

Gambar 8 menunjukkan hasil kemiripan ringkasan. Selain menampilkan hasil ringkasan, sistem juga menampilkan hasil pengecekan kemiripan terbesar dari masing masing soal. Dari seluruh dataset untuk masing masing soal dilakukan perbandingan kemiripan jawaban yang direpresentasikan kedalam bentuk tabel.

3.7 Evaluasi Sistem

Evaluasi sistem yang dilakukan yang dilakukan dalam penelitian ini melalui dua bagian. Evaluasi hasil ringkasan dilakukan untuk mengevaluasi hasil ringkasan yang dihasilkan oleh sistem kemudian untuk evaluasi hasil perbandingan kesamaan jawaban dilakukan oleh pakar.

1. Evaluasi Hasil Ringkasan

Hasil ringkasan yang dihasilkan setelah mengurutkan bobot kata dari tertinggi hingga terendah kemudian dilakukan evaluasi. Evaluasi ringkasan dilakukan dengan membandingkan ringkasan yang terbentuk dari fungsi dengan *library* dan tanpa *library*

menggunakan metode *cosine similarity*. Masing-masing hasil ringkasan dibandingkan satu sama lain sehingga memperoleh nilai kemiripan seperti ditunjukkan pada tabel 9.

Tabel 9 Nilai Kesamaan Ringkasan dengan dan tanpa *Library*

| Dokumen ke | A1 | A2 | A3 | A4 |
|------------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 1,000000 | 1,000000 | 0,901111 | 1,000000 |
| 2 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 |
| 3 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 0,920909 |
| 4 | 1,000000 | 0,905826 | 1,000000 | 0,938223 |
| 5 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 |
| 6 | 1,000000 | 0,901111 | 0,920909 | 0,883128 |
| 7 | 1,000000 | 0,669419 | 1,000000 | 0,799519 |
| 8 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 |
| 9 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 |
| 10 | 0,779915 | 1,000000 | 1,000000 | 0,842544 |
| 11 | 0,752320 | 1,000000 | 1,000000 | 0,867364 |
| 12 | 1,000000 | 0,858656 | 1,000000 | 0,503103 |
| 13 | 1,000000 | 1,000000 | 0,858656 | 0,846647 |
| 14 | 1,000000 | 0,835050 | 1,000000 | 1,000000 |
| 15 | 1,000000 | 1,000000 | 0,779915 | 0,883128 |

Tabel 9 menampilkan nilai kesamaan ringkasan. Berdasarkan nilai yang tertera pada tabel 9 dapat dilihat untuk jawaban nomor 1, terdapat 13 dari 15 ringkasan sistem memiliki nilai kemiripan sebesar 1 yang berarti hasil ringkasannya sama, hanya terdapat 2 dokumen yang nilai kemiripannya mendekati 1 namun masih di atas 0,7 yang berarti dokumen masih memiliki kemiripan yang lumayan mirip. Begitu juga untuk jawaban nomor 2 terdapat 10 soal dengan nilai kemiripan 1 dan 5 lainnya dengan nilai kemiripan di atas 0,8. Pada jawaban nomor 3 terdapat 11 jawaban nilai kemiripannya 1 dan 4 jawaban dengan nilai kemiripan di atas 0,7. Serta untuk jawaban nomor 4 terdapat 6 jawaban dengan nilai kemiripan 1 dan 9 jawaban yang nilai kemiripannya mendekati 1. Berdasarkan hasil perbandingan tersebut dapat diperoleh akurasi dari ringkasan yang dihasilkan dengan menerapkan persamaan 4 dengan hasil evaluasi seperti yang ditunjukkan tabel 10.

Tabel 10 Hasil Evaluasi Ringkasan

| Kode soal | Akurasi (%) |
|------------------|--------------|
| A1 | 96,8% |
| A2 | 94,4% |
| A3 | 96,4% |
| A4 | 89,8% |
| Rata-rata | 94,4% |

Berdasarkan tabel 10 dapat diketahui bahwa rata rata akurasi yang dihasilkan adalah sebesar 94,4%. Hal tersebut berarti kedua hasil ringkasan yang dibandingkan memiliki kesamaan antara satu sama lain yang cukup tinggi.

2. Evaluasi Pakar

Untuk selanjutnya untuk evaluasi hasil perbandingan kemiripan jawaban dilakukan dengan cara membandingkan dokumen jawaban secara manual kemudian diberikan skor kemiripan dengan skala A-E dimana nilai dengan skala A dan B artinya pasangan dokumen yang dibandingkan memiliki kemiripan (mendekati 1), serta nilai dengan skala

C, D dan E artinya pasangan dokumen tidak memiliki kemiripan (mendekati 0). Adapun skala kemiripan yang digunakan adalah sebagai berikut.

A = 0,81 - 1,00

B = 0,61 - 0,80

C = 0,41 - 0,60

D = 0,21 - 0,40

E = 0 - 0,20

Dalam hal ini pasangan dokumen dinyatakan kemiripannya dengan ketentuan jika skor kemiripan sistem bernilai minimal 0,80 dan skor kemiripan yang diberikan pakar dengan skala minimal B maka kemiripan antara dokumen dinyatakan "Sesuai". Sebaliknya jika skor kemiripan sistem bernilai 0,80 kebawah dan skor kemiripan yang diberikan pakar adalah C, D dan E maka kemiripan antara dokumen dinyatakan "Tidak Sesuai". Area yang diwarnai hijau menandakan kemiripan dokumen "Sesuai". Area yang diwarnai kuning menandakan kemiripan dokumen "Tidak Sesuai". Perbandingan nilai kemiripan ditunjukkan oleh gambar 9.

| doc | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|-----|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1 | 0 | 0,81 - 1,00 | 0,81 - 1,00 | 0,81 - 1,00 | 0,21 - 0,40 | 0,61 - 0,80 | 0,61 - 0,80 | 0,41 - 0,60 | 0,41 - 0,60 | 0,61 - 0,80 | 0,41 - 0,60 | 0,61 - 0,80 | 0,21 - 0,40 | 0,81 - 1,00 | 0,21 - 0,40 |
| 2 | 0,893325 | 0 | 0,81 - 1,00 | 0,41 - 0,60 | 0,21 - 0,40 | 0,21 - 0,40 | 0,61 - 0,80 | 0,41 - 0,60 | 0,41 - 0,60 | 0,61 - 0,80 | 0,61 - 0,80 | 0,61 - 0,80 | 0,41 - 0,60 | 0,81 - 1,00 | 0,41 - 0,60 |
| 3 | 0,831607 | 0,755929 | 0 | 0,61 - 0,80 | 0,21 - 0,40 | 0,21 - 0,40 | 0,61 - 0,80 | 0,21 - 0,40 | 0,41 - 0,60 | 0,61 - 0,80 | 0,61 - 0,80 | 0,61 - 0,80 | 0,41 - 0,60 | 0,61 - 0,80 | 0,21 - 0,40 |
| 4 | 0,842235 | 0,808122 | 0,801784 | 0 | 0,41 - 0,60 | 0,41 - 0,60 | 0,81 - 1,00 | 0,41 - 0,60 | 0,41 - 0,60 | 0,61 - 0,80 | 0,81 - 1,00 | 0,61 - 0,80 | 0,41 - 0,60 | 0,61 - 0,80 | 0,41 - 0,60 |
| 5 | 0,760078 | 0,696143 | 0,701646 | 0,726651 | 0 | 0,41 - 0,60 | 0,41 - 0,60 | 0,21 - 0,40 | 0,21 - 0,40 | 0,21 - 0,40 | 0,21 - 0,40 | 0,21 - 0,40 | 0,61 - 0,80 | 0,21 - 0,40 | 0,41 - 0,60 |
| 6 | 0,841034 | 0,726273 | 0,800641 | 0,813125 | 0,814562 | 0 | 0,21 - 0,40 | 0,21 - 0,40 | 0,41 - 0,60 | 0,41 - 0,60 | 0,41 - 0,60 | 0,21 - 0,40 | 0,41 - 0,60 | 0,21 - 0,40 | 0,21 - 0,40 |
| 7 | 0,891338 | 0,908688 | 0,801388 | 0,831522 | 0,769015 | 0,815239 | 0 | 0,41 - 0,60 | 0,61 - 0,80 | 0,21 - 0,40 | 0,61 - 0,80 | 0,41 - 0,60 | 0,21 - 0,40 | 0,61 - 0,80 | 0,61 - 0,80 |
| 8 | 0,5336 | 0,542105 | 0,478091 | 0,543045 | 0,44028 | 0,478474 | 0,540899 | 0 | 0,21 - 0,40 | 0,41 - 0,60 | 0,41 - 0,60 | 0,41 - 0,60 | 0,21 - 0,40 | 0,41 - 0,60 | 0,21 - 0,40 |
| 9 | 0,680883 | 0,579066 | 0,667823 | 0,629941 | 0,682191 | 0,73598 | 0,666667 | 0,366234 | 0 | 0,41 - 0,60 | 0,41 - 0,60 | 0,61 - 0,80 | 0,41 - 0,60 | 0,41 - 0,60 | 0,61 - 0,80 |
| 10 | 0,859855 | 0,779194 | 0,768029 | 0,777844 | 0,701969 | 0,776736 | 0,823193 | 0,492805 | 0,714577 | 0 | 0,81 - 1,00 | 0,81 - 1,00 | 0,41 - 0,60 | 0,61 - 0,80 | 0,21 - 0,40 |
| 11 | 0,872786 | 0,790912 | 0,779579 | 0,789542 | 0,712525 | 0,788417 | 0,835573 | 0,500216 | 0,725324 | 0,985184 | 0 | 0,61 - 0,80 | 0,41 - 0,60 | 0,41 - 0,60 | 0,41 - 0,60 |
| 12 | 0,849548 | 0,774382 | 0,826718 | 0,835766 | 0,794435 | 0,863353 | 0,884492 | 0,489762 | 0,737076 | 0,784599 | 0,796398 | 0 | 0,21 - 0,40 | 0,81 - 1,00 | 0,41 - 0,60 |
| 13 | 0,811666 | 0,778792 | 0,749269 | 0,750939 | 0,739296 | 0,779864 | 0,82121 | 0,470162 | 0,640191 | 0,772328 | 0,783943 | 0,807957 | 0 | 0,41 - 0,60 | 0,41 - 0,60 |
| 14 | 0,815088 | 0,828079 | 0,730297 | 0,829515 | 0,640513 | 0,701646 | 0,826236 | 0,523723 | 0,602464 | 0,797053 | 0,80904 | 0,787499 | 0,718185 | 0 | 0,21 - 0,40 |
| 15 | 0,858137 | 0,796819 | 0,808138 | 0,845154 | 0,7396 | 0,860828 | 0,834799 | 0,579546 | 0,645975 | 0,818096 | 0,830399 | 0,818393 | 0,789799 | 0,80829 | 0 |

Gambar 9 Hasil Perbandingan Jawaban oleh Pakar

Gambar 9 menunjukkan hasil perbandingan jawaban yang dilakukan oleh pakar. Berdasarkan hasil evaluasi yang ditampilkan pada gambar 9 dapat dilihat bahwa dari 105 pasangan dokumen jawaban terdapat 67 pasangan jawaban yang dikatakan memiliki kemiripan dan 38 lainnya dinyatakan kurang memiliki kemiripan. Dari 105 data sistem dapat melakukan pengecekan dengan benar sebanyak 67 data. Hal tersebut berarti hasil perbandingan kesamaan yang dihasilkan sistem sebesar 63,80% dari keseluruhan.

Kesimpulan

Penelitian yang dilakukan ini bertujuan untuk memudahkan dalam mengetahui perbandingan kesamaan tugas mahasiswa. Adapun kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Berdasarkan hasil penelitian sistem menghasilkan mampu menghasilkan ringkasan yang terdiri dari bobot kata tertinggi dengan hasil evaluasi menggunakan *cosine similarity* untuk membandingkan apakah ringkasan yang dihasilkan sama dengan ringkasan yang dibuat dengan menggunakan *library*. Hasil evaluasi menunjukkan nilai akurasi sebesar 94,4%. Hal tersebut berarti kedua hasil ringkasan yang dibandingkan memiliki kesamaan antara satu sama lain yang cukup tinggi.
2. Berdasarkan hasil pengujian terhadap kesamaan jawaban yang dilakukan oleh pakar diperoleh hasil bahwa sistem dapat melakukan perbandingan kesamaan dari 105 data terdapat 67 hasil perbandingan yang setara dengan 63,80%. Hal tersebut karena sistem hanya membandingkan berdasarkan kata kata yang terdapat dalam ringkasan tidak berdasarkan makna katanya.

References

- [1] F. M. Kundi, M. Z. Asghar, S. R. Zahra, S. Ahmad, dan A. Khan, "A review of *text summarization*," *language*, vol. 6, no. 7, hlm. 8, 2014.
- [2] E. L. Amalia, A. J. Jumadi, I. A. Mashudi, dan D. W. Wibowo, "Analisis Metode *Cosine Similarity* Pada Aplikasi Ujian *Online* Esai Otomatis (Studi Kasus JTI Polinema)," *J. Teknol. Inf. Dan Ilmu Komput. JTIK*, vol. 8, no. 2, 2021.
- [3] R. P. Pratama, M. Faisal, dan A. Hanani, "Deteksi Plagiarisme pada Dokumen Jurnal Menggunakan Metode *Cosine Similarity*," *SMARTICS J.*, vol. 5, no. 1, hlm. 22–26, 2019.
- [4] S. Agustian dan S. Ramadhani, "Peringkasan teks otomatis (*automated text summarization*) pada artikel berbahasa indonesia menggunakan algoritma *lexrank*," *J. CoSciTech Comput. Sci. Inf. Technol.*, vol. 3, no. 3, hlm. 371–381, 2022.
- [5] Y. M. Sari dan N. S. Fatonah, "Peringkasan Teks Otomatis pada Modul Pembelajaran Berbahasa Indonesia Menggunakan Metode *Cross Latent Semantic Analysis (CLSA)*," *JEPIN J. Edukasi Dan Penelit. Inform.*, vol. 7, no. 2, hlm. 153–159, 2021.
- [6] Y. Findawati dan M. A. Rosid, "Buku Ajar *Text Mining*," *Umsida Press*, hlm. 1–123, 2020.
- [7] M. A. Rosid, A. S. Fitriani, I. R. I. Astutik, N. I. Mulloh, dan H. A. Gozali, "Improving *text preprocessing* for student complaint document classification using *sastrawi*," dalam *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing, 2020, hlm. 012017.
- [8] A. Tabassum dan R. R. Patil, "A survey on *text pre-processing* & feature extraction techniques in natural language processing," *Int. Res. J. Eng. Technol. IRJET*, vol. 7, no. 06, hlm. 4864–4867, 2020.
- [9] S. Khomsah dan A. S. Aribowo, "*Text-preprocessing* model youtube comments in indonesian," *J. RESTI Rekayasa Sist. Dan Teknol. Inf.*, vol. 4, no. 4, hlm. 648–654, 2020.
- [10] S. Robertson, "Understanding *inverse document frequency*: on theoretical arguments for *IDF*," *J. Doc.*, vol. 60, no. 5, hlm. 503–520, 2004.
- [11] N. K. Nagwani dan S. Verma, "A frequent *term* and semantic *similarity* based single document *text summarization* algorithm," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 17, no. 2, hlm. 36–40, 2011.
- [12] I. W. A. Setyadi, D. C. Khrisne, dan I. M. A. Suyadnya, "*Automatic Text Summarization* Menggunakan Metode *Graph* dan *Ant Colony Optimization*," *vol*, vol. 17, hlm. 124–130, 2018.

Sistem Proses Validasi Pada Pembinaan Karir Prajurit Militer Dengan Metode Rule-Based Reasoning Berbasis User Centered Design (Studi Kasus: Jajaran Korem 163)

I Putu Gede Maysa Putra^{a1}, Made Agung Raharja^{a2},
I Gede Arta Wibawa^{a3}, I Gusti Anom Cahyadi Putra^{a4}.

Informatika, Universitas Udayana
Jl. Raya Kampus UNUD, Bukit Jimbaran, Kuta Selatan, Badung, Bali, Indonesia

¹maysaputra086@student.unud.ac.id

²made.agung@unud.ac.id

³gede.arta@unud.ac.id

⁴anom.cp@unud.ac.id

Abstract

This research focuses on improving administrative efficiency at Korem 163 through the implementation of a digital system that relies on rule-based reasoning methods. The primary goal of this method is to automate the data validation process related to career development, thereby reducing the likelihood of human error and ensuring the accuracy of data required for personnel promotion decisions. The system is designed using a User-Centered Design (UCD) approach in accordance with ISO standards, aiming to enhance usability and user comfort. Blackbox testing results show that the system functions effectively, with all test scenarios passing without errors, indicating that the system has strong data integrity and a high level of reliability. The system also demonstrated excellent accuracy in personnel selection, achieving 100%, and received a score of 84.29 on the System Usability Scale (SUS), placing it in the "Good Usability" category with a grade of B. Further qualitative evaluations rated the system as "Very Good," confirming that it is easy to use and highly efficient. Therefore, it is recommended that the system be implemented more broadly and monitored regularly to ensure optimal performance. The findings of this study make a significant contribution to personnel management in military settings, particularly in ensuring a fair and efficient career management process.

Keywords: Rule-based Reasoning, Career Coaching, User-Centered Design, Blackbox Testing.

1. Pendahuluan

Di era saat ini, banyak perusahaan dan organisasi besar yang beralih dari metode kerja manual ke aplikasi atau sistem digital untuk menyederhanakan alur proses administrasi serta meningkatkan efisiensi dan produktivitas anggota mereka. Salah satu aspek penting dalam organisasi adalah proses kenaikan pangkat, yang menjadi motivasi bagi anggota untuk meningkatkan kualitas diri dan kinerja guna mencapai pangkat yang diinginkan. Proses ini juga memastikan bahwa anggota memiliki kemampuan dan kualifikasi yang sesuai dengan tugas dan tanggung jawab yang mereka emban. Militer juga menerapkan prinsip ini untuk memastikan personel yang akan atau sedang menjabat memiliki kualifikasi yang memadai[1]. Dalam proses pembinaan karier prajurit militer, terdapat beberapa tahapan yang harus dilalui, termasuk validasi data oleh divisi terkait di setiap cabang. Di Korem 163, proses validasi data personel sering kali menghadapi berbagai kendala, seperti pengecekan data yang berulang untuk menghindari kesalahan manusia (human error), yang dapat memperumit tugas anggota divisi yang bertanggung jawab[2].

Rule-based reasoning merupakan metode yang menggunakan aturan-aturan tertentu (misalnya, "jika kondisi tertentu terpenuhi, maka lakukan tindakan tertentu") untuk menyelesaikan masalah[3]. Aturan-aturan ini mencerminkan pengetahuan umum tentang suatu domain, dan dalam konteks validasi data personel, dapat diterapkan untuk membuat aturan yang jelas mengenai persyaratan pangkat dan format data. Aturan-aturan ini kemudian dapat diprogram ke dalam sistem komputer untuk secara otomatis memeriksa data yang dimasukkan dan memperingatkan jika terdapat kesalahan atau data

yang tidak lengkap. Penerapan metode ini di Korem 163 bertujuan untuk meminimalkan kesalahan manusia dan mempercepat proses validasi data, serta meningkatkan akurasi data yang dikirim ke pusat, sehingga keputusan terkait kenaikan pangkat dapat dilakukan dengan lebih tepat dan adil.

Selain itu, penggunaan ISO User-Centered Design (UCD) dalam pengembangan sistem bertujuan untuk memastikan bahwa sistem yang dibuat mudah digunakan dan sesuai dengan kebutuhan pengguna [4]. ISO 9241-210:2010 memberikan panduan tentang penerapan prinsip-prinsip UCD di semua tahap desain produk interaktif, termasuk pertimbangan aspek ergonomis, kenyamanan, efektivitas, dan efisiensi. Dengan menerapkan prinsip UCD, pengembang dapat lebih memahami kebutuhan pengguna melalui wawancara atau observasi, sehingga dapat merancang sistem yang intuitif dan meminimalkan kesalahan pengguna. Namun, meskipun UCD dapat membantu dalam memastikan produk atau sistem memenuhi kebutuhan pengguna, proses pengumpulan data dalam UCD bisa memakan waktu yang cukup lama, dan desain yang intuitif terkadang menghasilkan produk yang kurang inovatif.

ISO usability testing, sebagaimana didefinisikan dalam ISO 9241-11, merupakan metode pengujian yang mengevaluasi seberapa efektif, efisien, dan memuaskan suatu produk bagi pengguna [5]. Pengujian ini melibatkan pengguna yang mewakili target pengguna produk dan mengukur berbagai aspek seperti waktu penyelesaian tugas, kesalahan yang dibuat, serta respons terhadap antarmuka produk. Pengujian ini membantu memastikan bahwa produk yang dihasilkan sesuai dengan kebutuhan dan preferensi pengguna, memperhatikan aspek ergonomis, antarmuka, kinerja, serta keterpahaman informasi [6].

Berdasarkan latar belakang penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa topik mengenai "Sistem Proses Validasi pada Pembinaan Karier Prajurit Militer dengan Metode Rule-based Reasoning berbasis User-Centered Design (Studi Kasus: Jajaran Korem 163)" penting untuk dikaji lebih lanjut. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam bidang informatika dan memberikan solusi atas masalah yang ada atau menawarkan saran dan rekomendasi untuk pengembangan di masa mendatang.

2. Metodolgi Penelitian

2.1 Persiapan Data Set

Pada bagian ini, penulis melakukan pengumpulan data yang akan digunakan pada penelitian ini, data tersebut merupakan data yang diambil melalui wawancara dan meminta perizinan pengambilan data kenaikan pangkat di Komando Resor Militer 163 Wira Satya.

Dalam penelitian ini, akan digunakan dua jenis data, yaitu data kuantitatif dan data kualitatif. Data kuantitatif akan diperoleh dari hasil uji kebergunaan (usability testing), sedangkan data kualitatif akan diperoleh melalui Contextual Inquiry yang dilakukan kepada pengguna.

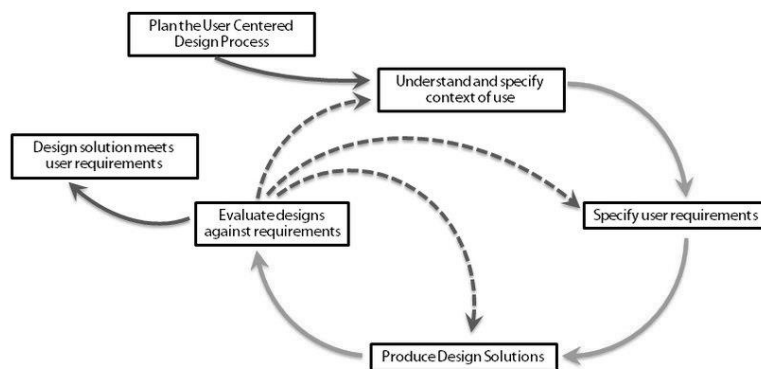
2.2 Metode Pengumpulan Data

Metode Contextual Inquiry melibatkan beberapa tahap untuk memahami interaksi pengguna dengan sistem secara mendalam. Tahap pertama adalah perencanaan, menetapkan tujuan dan memilih partisipan. Persiapan melibatkan penjadwalan observasi dan alat yang diperlukan. Pengenalan membangun kepercayaan dan menjelaskan tujuan kepada partisipan. Pengumpulan data dilakukan di lingkungan alami partisipan melalui observasi dan wawancara untuk memahami interaksi dan tantangan mereka. Penutupan merangkum proses yang diamati dan memperoleh klarifikasi. Analisis data mencakup transkripsi, konsolidasi, dan identifikasi tema utama, diikuti oleh pelaporan hasil penelitian untuk pengambilan keputusan desain produk atau sistem. Metode ini memungkinkan pengumpulan data mendalam untuk meningkatkan pengembangan produk atau sistem.

2.3 Perancangan Sistem

Dalam merancang sistem ini, penulis akan membaginya menjadi tiga tahap, yaitu tahap menggunakan perencanaan Desain Berpusat pada Pengguna (User Centered Design), tahap proses rule-based reasoning dan tahap perancangan basis data (Database).

2.3.1 Perencanaan User Centered Design



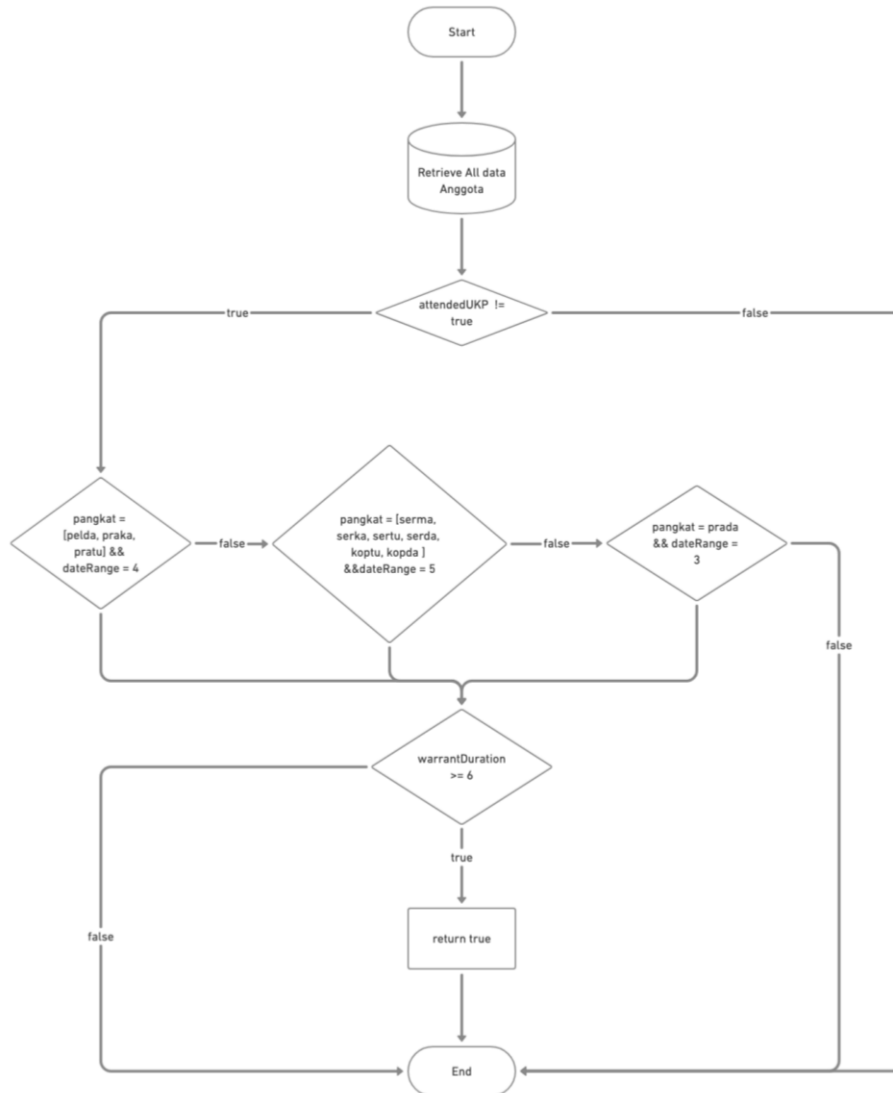
Gambar 1. Proses User Centered Design

Dalam perencanaan Desain Berpusat pada Pengguna (User Centered Design), terdapat lima proses utama berdasarkan standar ISO 9241-210:2010 untuk menemukan solusi yang sesuai dengan berbagai persyaratan pengguna. Tahapan-tahapan tersebut dapat dilihat pada gambar 1. Proses pertama adalah merencanakan proses desain pengguna, yang melibatkan penetapan tujuan, identifikasi sumber daya yang dibutuhkan, penjadwalan, dan tahapan kerja. Selain itu, strategi komunikasi dengan pemangku kepentingan juga dikembangkan untuk memastikan keterlibatan dan informasi yang baik kepada semua pihak terkait.

Metode Contextual Inquiry digunakan dengan mendatangi pengguna langsung. Dalam metode ini, beberapa informasi yang diperoleh mencakup pemahaman mendalam tentang kebutuhan, tujuan, dan perilaku pengguna. Hal ini meliputi apa yang pengguna butuhkan dari produk atau sistem, tujuan yang ingin mereka capai, serta cara mereka menggunakan produk sehari-hari. Penelitian juga mengidentifikasi masalah dan hambatan yang dihadapi pengguna, seperti kesulitan, titik friksi, dan area ketidakpuasan. Informasi ini penting untuk meningkatkan kegunaan produk dan memberikan wawasan tentang lingkungan kerja fisik dan sosial pengguna, yang membantu merancang produk yang sesuai dengan pengalaman nyata pengguna.

2.3.2 Rule-Based Reasoning

Sistem ini menggunakan rule-based reasoning untuk mengatur percabangan berdasarkan syarat-syarat yang telah ditetapkan. Setiap aturan terdiri dari bagian "if" yang menetapkan kondisi atau situasi tertentu, dan bagian "then" yang menentukan tindakan atau keputusan yang harus diambil jika kondisi tersebut terpenuhi. Aturan-aturan ini diambil dari surat telegram kantor pusat TNI AD dan disimpan dalam database. Beberapa norma atau aturan yang berlaku dalam sistem ini meliputi syarat personel tidak sedang dalam proses hukum, penilaian kesamaptaaan jasmani, konduite dan prestasi kerja baik, serta masa dinas dalam pangkat minimum. Selain itu, juga termasuk jabatan definitif sesuai dengan ruang jabatan dan minimal enam bulan dalam jabatan tersebut, larangan menggunakan jabatan dua kali, dan persyaratan penilaian seperti Daftar Penilaian Prajurit minimal 80 serta lulus Uji Terampil Perorangan Umum dan UTP Jabatan.

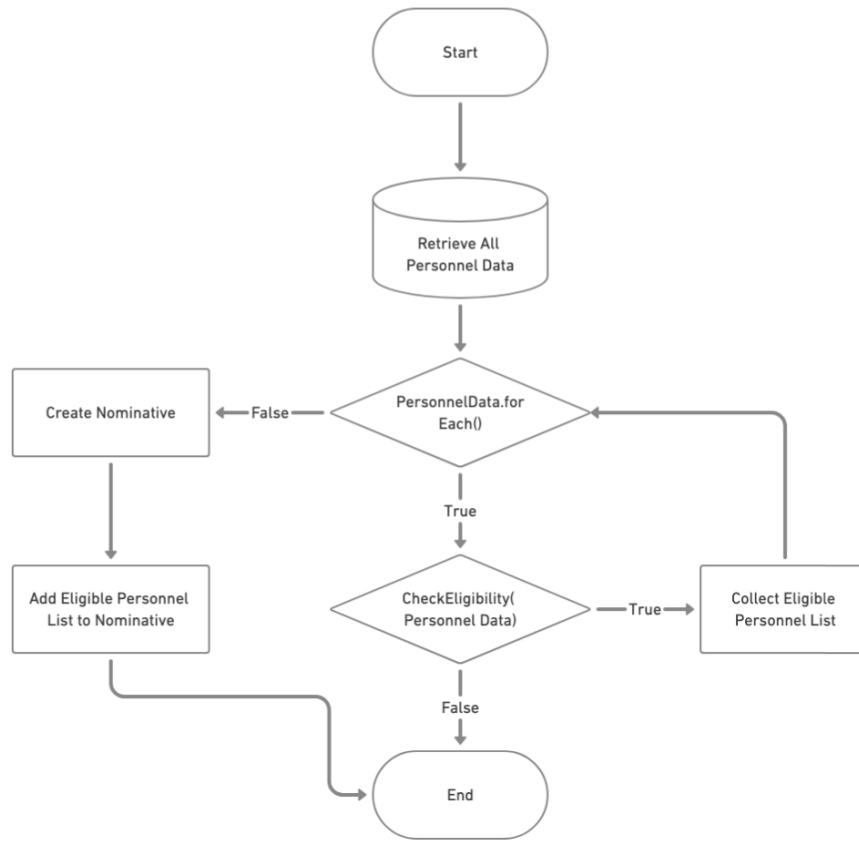


Gambar 2. Flowchart Check Eligible Data

Flowchart `checkEligible` dimulai dengan pengambilan data personel dari database, mencakup informasi dasar seperti ID, pangkat, jabatan, dan tanggal-tanggal penting terkait. Setelah data diperoleh, sistem mengecek apakah personel sudah pernah diajukan dalam periode nominatif yang sama; jika sudah, proses berhenti dan menandakan bahwa personel tersebut tidak dapat diproses lebih lanjut untuk promosi dalam periode tersebut. Jika belum, sistem melanjutkan ke langkah berikutnya yaitu memeriksa masa dinas personel. Berdasarkan pangkatnya, sistem menghitung durasi masa dinas yang harus dipenuhi untuk memenuhi syarat promosi. Jika masa dinas tidak mencukupi, personel dianggap tidak memenuhi syarat untuk promosi dan proses berhenti. Selanjutnya, sistem memeriksa masa jabatan personel, yang harus lebih dari atau sama dengan 6 bulan untuk memenuhi syarat promosi. Jika masa jabatan tidak memenuhi syarat ini, personel dianggap tidak memenuhi syarat untuk promosi dan proses dihentikan.

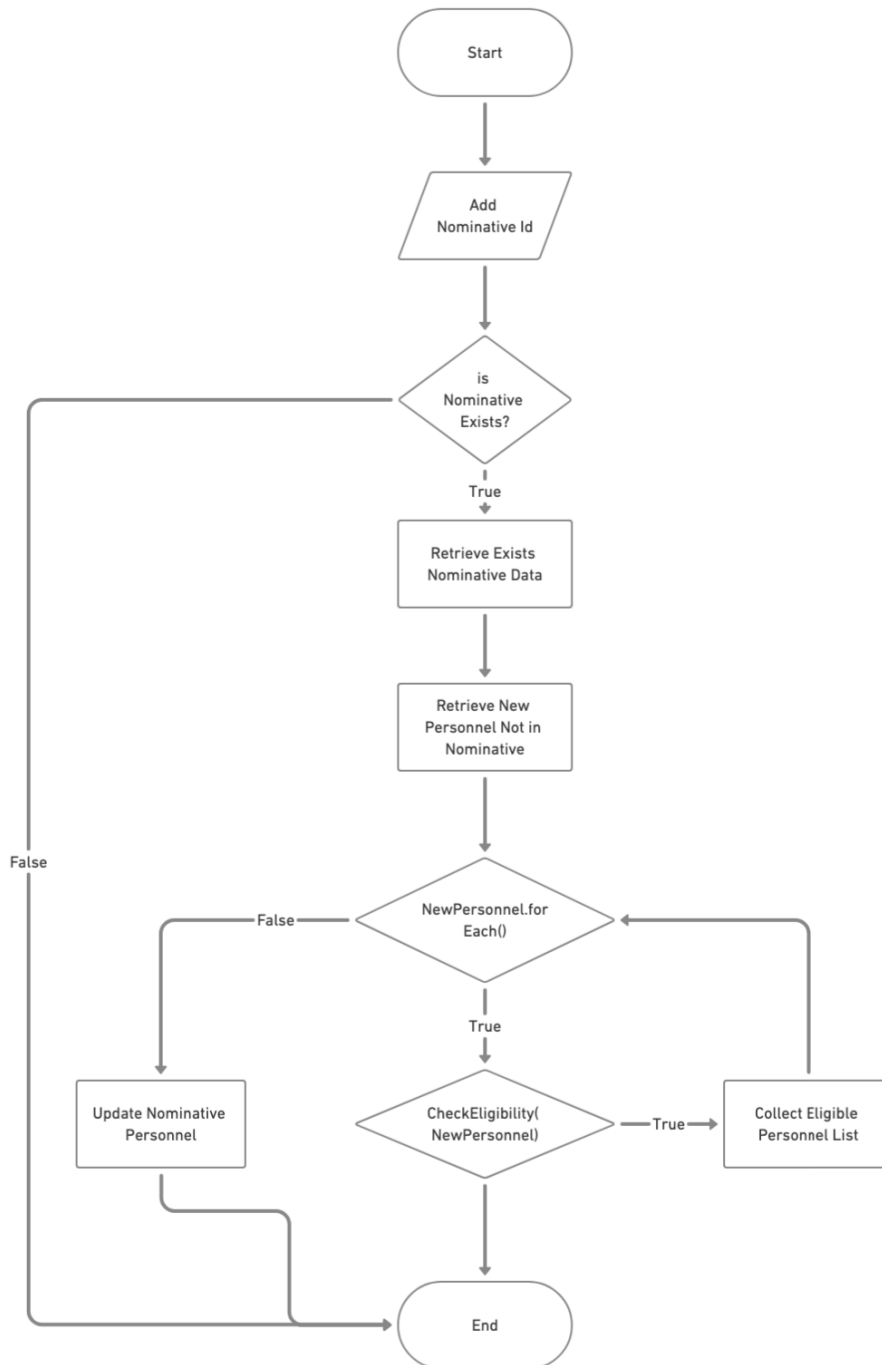
Jika personel memenuhi syarat masa dinas dan masa jabatan, sistem kemudian memeriksa apakah personel telah mengemban jabatan baru jika sebelumnya pernah diajukan dalam periode nominatif. Jika personel masih memegang jabatan yang sama seperti sebelumnya, mereka tidak memenuhi syarat untuk promosi, dan proses berhenti. Setelah semua syarat dipenuhi, personel dianggap memenuhi syarat untuk promosi dan fungsi mengeluarkan nilai berupa true, menandakan proses selesai. Flowchart ini memastikan bahwa hanya personel yang memenuhi semua kriteria yang akan diproses untuk promosi, dengan memeriksa berbagai aspek penting secara berurutan. Selain menentukan kelayakan personel untuk promosi, peneliti juga merinci alur dari dua fungsi utama dalam sistem nominatif: pertama, fungsi pembuatan nominatif yang menggunakan metode Forward Chaining,

dan kedua, fungsi penyegaran (refresh) nominatif yang menggunakan metode Backward Chaining. Kedua alur ini akan diimplementasikan dan digunakan oleh pengguna.



Gambar 3. Alur Pembuatan data Nominatif dengan Forward Chaining

Dalam sistem ini, seluruh data personil diambil dari database dan diperiksa satu per satu untuk kelayakan kenaikan pangkat berdasarkan aturan seperti masa dinas, masa jabatan, dan status nominatif sebelumnya. Personil yang memenuhi semua syarat dikumpulkan dalam daftar personil yang layak. Setelah semua personil diperiksa, sistem membuat entri nominatif baru dan memasukkan data personil yang memenuhi syarat ke dalam tabel nominatif sesuai dengan periode yang berlaku. Dengan demikian, forward chaining digunakan untuk proaktif menentukan dan mencatat personil yang layak untuk kenaikan pangkat.



Gambar 4. Alur Fungsi Penyegaran Data dengan Backward Chaining

Alur ini dimulai dengan tujuan memastikan apakah ada personel baru yang memenuhi syarat kenaikan pangkat dalam periode nominatif yang ada. Proses dimulai ketika pengguna menekan tombol "penyegaran data" pada UI. Sistem kemudian memeriksa tabel nominatif periode saat ini dan mengambil data nominatif yang sudah ada. Setelah itu, sistem memeriksa semua personel dari database dan mengecek setiap personel baru atau yang belum terdaftar dalam nominatif sebelumnya. Sistem memverifikasi apakah mereka memenuhi aturan kenaikan pangkat yang ditetapkan. Jika ditemukan personel baru yang memenuhi syarat, mereka dimasukkan ke dalam tabel nominatif. Backward chaining digunakan untuk secara reaktif menentukan personel baru yang memenuhi syarat kenaikan pangkat dan memperbarui data nominatif berdasarkan informasi terbaru.

2.4 Implementasi

Pada tahap implementasi, langkah berikutnya adalah membangun sistem berdasarkan rancangan yang telah disusun menggunakan metodologi Model Prototype. Penulis akan menggunakan Visual Studio Code sebagai editor kode dan MySQL untuk mengelola basis data. Git akan digunakan sebagai Version Control untuk mengelola perubahan kode, sementara React.js akan digunakan untuk mengelola tampilan website dengan konsep Virtual DOM untuk meningkatkan kecepatan dan efisiensi pembaruan antarmuka pengguna (UI). Terakhir, Node.js akan digunakan untuk mengakses dan mengelola sumber daya sistem operasi seperti file dan jaringan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Blackbox Testing

Proses Blackbox Testing mengukur keberhasilan fungsionalitas aplikasi. Berikut adalah hasil pengujian menggunakan teknik Equivalency Partitioning yang dirangkum dalam tabel:

Tabel 1. Hasil Pengujian Blackbox Testing berdasarkan Skenario

| Kode | Skenario | Hasil yang diharapkan | Hasil Pengujian | Ket. |
|------|---|--|--|--------|
| A01 | <i>Input</i> nama pengguna dan kata sandi, atau salah satu kosong | Akan memunculkan pesan <i>error</i> "Nama Pengguna dan Kata Sandi tidak boleh Kosong". | Sistem berhasil mengidentifikasi bahwa salah satu atau kedua data kosong lalu memunculkan pesan <i>error</i> | Sesuai |
| A02 | <i>Input</i> nama pengguna atau kata sandi yang tidak sesuai atau tidak terdaftar | Memunculkan pesan <i>error</i> "Nama Pengguna atau Kata Sandi tidak sesuai". | Sistem berhasil mengidentifikasi bahwa nama pengguna atau kata sandi yang di masukkan ke dalam input tidak sesuai. | Sesuai |
| A03 | <i>Input</i> data pengguna sesuai dengan level. | Akan memunculkan halaman Beranda dengan <i>SideBar</i> dan fitur yang sesuai dengan level pengguna. | Sistem berhasil mengidentifikasi level atau peran dari pengguna dan menampilkan fitur yang sesuai dengan perannya. | Sesuai |
| B01 | Cari nama atau nrp pada <i>input</i> pencarian | Akan memunculkan data sesuai dengan apa yang di masukkan pada <i>input</i> dan akan memunculkan pesan "Data tidak ditemukan" apabila tidak terdapat data yang dicari | Sistem berhasil menampilkan data yang sesuai dengan input yang diberikan dan ketika data tidak ada, sistem memunculkan pesan "Data tidak ditemukan". | Sesuai |
| B02 | Mencari data berdasarkan unit, dengan cara klik unit yang diinginkan pada pilihan unit. | Memunculkan data berdasarkan unit yang ada dan apabila tidak terdapat data dalam unit tersebut maka akan menampilkan pesan "Data tidak ditemukan". | Sistem berhasil menampilkan data yang diberikan berdasarkan unit yang di pilih dan apabila data tidak ada maka akan menampilkan pesan "Data tidak ditemukan" | Sesuai |
| B03 | Menghapus salah satu data anggota dengan menekan tombol ikon tempat sampah. | Akan memunculkan notifikasi apabila data berhasil di hapus. | Sistem berhasil menampilkan notifikasi ketika data sudah berhasil di hapus. | Sesuai |
| B04 | Menambahkan data ke dalam sistem data anggota dengan | Akan memunculkan formulir dalam bentuk <i>Pop Up</i> . | Sistem berhasil menampilkan <i>Pop Up</i> dan menampilkan formulir yang diperlukan. | Sesuai |

Putra, Raharja, Wibawa, dan Cahyadi.

Sistem Proses Validasi Pada Pembinaan Karier Prajurit Militer Dengan Metode Rule-Based Reasoning Berbasis User Centered Design (Studi Kasus: Jajaran Korem 163)

| | | | | |
|-----|--|--|---|--------|
| | menekan tombol "Tambah Data". | | | |
| B05 | Menambahkan pangkat pada riwayat pangkat di dalam <i>pop up</i> , dengan menekan tombol "Tambah Pangkat" | Akan menampilkan <i>dropdown</i> yang berisi <i>input</i> pangkat dengan kondisi riwayat pangkat sebelumnya sudah diisi. | Sistem berhasil menambah pangkat pada riwayat pangkat ketika data sebelumnya sudah diisi. | Sesuai |
| B06 | Menghapus salah satu data dalam riwayat pangkat dengan menekan ikon tempat sampah | Akan menampilkan data riwayat pangkat yang tidak terhapus dan tidak menampilkan data yang sudah terhapus. | Sistem berhasil menghapus data pangkat pada riwayat pangkat dan menampilkan data riwayat pangkat yang tidak terhapus lalu tidak menampilkan data yang sudah terhapus | Sesuai |
| B07 | Menambahkan data pendidikan dalam riwayat pendidikan dengan menekan tombol "Tambah Pendidikan" | Akan menampilkan <i>dropdown</i> yang berisi <i>input</i> pendidikan dengan kondisi riwayat sebelumnya sudah diisi. | Sistem berhasil menambah data pendidikan ketika data sebelumnya sudah diisi. | Sesuai |
| B08 | Menghapus salah satu data dalam riwayat pendidikan dengan menekan ikon tempat sampah | Akan menampilkan data riwayat pendidikan yang tidak terhapus dan tidak menampilkan data yang sudah terhapus. | Sistem berhasil menghapus data pendidikan dan menampilkan data riwayat pendidikan yang tidak terhapus lalu untuk data yang terhapus tidak akan ditampilkan | Sesuai |
| B09 | Menambahkan data kosong dalam <i>input</i> tambah data anggota. | Akan menampilkan pemberitahuan di atas tombol kembali dan simpan. | Sistem berhasil menampilkan informasi <i>input</i> yang harus diisi dengan border berwarna merah dan label berwarna merah lalu menampilkan pemberitahuan di atas tombol simpan dan kembali. | Sesuai |
| B10 | Memperbaiki salah satu data dengan menekan tombol dengan ikon pena, dan mengisi data yang ingin di perbaiki atau yang ingin ditambahkan. | Akan memunculkan formulir dalam bentuk <i>Pop Up</i> , dan akan menampilkan notifikasi berhasil apabila data berhasil di perbaiki. | Sistem berhasil menampilkan formulir dalam bentuk <i>pop up</i> dan menampilkan notifikasi ketika data telah berhasil di perbaiki. | Sesuai |
| B11 | Mengisi hanya salah satu data <i>input</i> atau beberapa data saja yang ingin diubah | Akan mengubah data yang ingin diubah saja tanpa mengubah data lain yang tidak diubah | Sistem berhasil mengubah data yang diubah saja tanpa mengubah data yang tidak diubah | Sesuai |
| C01 | Cari nama atau nrp pada <i>input</i> | Akan memunculkan data sesuai dengan apa yang di masukkan pada <i>input</i> dan akan | Sistem berhasil menampilkan data sesuai dengan input dari pengguna dan memunculkan | Sesuai |

| | | | | |
|-----|---|---|--|--------|
| | | memunculkan pesan “Data tidak ditemukan” apabila tidak terdapat data yang dicari | pesan “Data tidak ditemukan” bila tidak terdapat data yang sesuai. | |
| C02 | Mencari data berdasarkan unit, dengan cara klik unit yang diinginkan pada pilihan unit. | Memunculkan data berdasarkan unit yang ada dan apabila tidak terdapat data dalam unit tersebut maka akan menampilkan pesan “Data tidak ditemukan”. | Sistem berhasil menampilkan data sesuai dengan pilihan pengguna dan menampilkan pesan “Data tidak ditemukan” ketika tidak ada data di dalam unit tersebut | Sesuai |
| C03 | Menghapus salah satu data nominatif dengan menekan tombol ikon tempat sampah. | Akan memunculkan notifikasi apabila data berhasil di hapus. | Sistem berhasil menghapus data dan memunculkan notifikasi bahwa data berhasil dihapus | Sesuai |
| C04 | Isi data baru pada data anggota dan <i>update</i> data pada nominatif dengan menekan tombol “Segarkan Data”. | Akan memunculkan data nominatif terbaru dari data anggota yang dianggap valid oleh sistem untuk melakukan kenaikan pangkat. | Sistem berhasil mengidentifikasi data baru yang valid dan menampilkannya pada halaman nominatif | Sesuai |
| C05 | Menambah data nilai, dengan menekan tombol dengan ikon pena, lalu segarkan data. | Akan menambahkan data nominatif baru apabila terdapat data yang dianggap valid oleh sistem untuk melakukan kenaikan pangkat lalu untuk data nilai yang sudah dimasukkan akan tetap dan tidak berubah. | Sistem berhasil menampilkan data terbaru tanpa mengubah data nilai yang telah di masukkan sebelum data nominatif di segarkan. | Sesuai |
| C06 | Tambah data nilai secara lengkap dengan menekan tombol dengan ikon pena lalu segarkan data. | Setelah berhasil menambah semua data nilai maka akan ditampilkan keterangan pada tabel yakni “Data Lengkap” bukan “Nilai Kosong” | Sistem berhasil mengidentifikasi data nilai ketika data nilai sudah terisi semua dan juga apabila data nilai memiliki nilai yang kosong atau belum di <i>input</i> | Sesuai |
| D01 | Cari nama staf dalam <i>input</i> pencarian. | Akan memunculkan data sesuai dengan apa yang di masukkan pada <i>input</i> dan akan memunculkan pesan “Data tidak ditemukan” apabila tidak terdapat data yang dicari. | Sistem berhasil menampilkan data staf sesuai dengan data masukkan dari pengguna dan ketika data tidak ada akan menampilkan pesan “Data tidak ditemukan”. | Sesuai |
| D02 | Menambahkan data ke dalam daftar staf dengan menekan tombol “Tambah Staf” dan mengisi data yang dibutuhkan pada formulir. | Akan memunculkan formulir dalam bentuk <i>Pop Up</i> , dan akan tampil notifikasi bila data berhasil ditambahkan | Sistem berhasil menampilkan formulir dalam bentuk <i>Pop Up</i> dan menampilkan notifikasi ketika data telah berhasil di tambah. | Sesuai |
| D03 | Menghapus salah satu data staf dengan menekan tombol ikon tempat sampah. | Akan memunculkan notifikasi apabila data berhasil di hapus. | Sistem berhasil menampilkan data yang tidak dihapus dan menampilkan notifikasi saat data berhasil dihapus | Sesuai |

| | | | | |
|-----|---|--|---|--------|
| D04 | Memperbaiki salah satu data dengan menekan tombol ikon pena, dan mengisi data yang ingin di perbaiki. | Akan memunculkan formulir dalam bentuk <i>Pop Up</i> , dan akan menampilkan notifikasi berhasil apabila data berhasil di perbaiki. | Sistem berhasil menampilkan formulir dalam bentuk <i>Pop Up</i> dan menampilkan notifikasi berhasil saat data berhasil diubah | Sesuai |
|-----|---|--|---|--------|

Kesimpulan dari tabel di atas menunjukkan bahwa sistem telah diuji melalui berbagai skenario untuk memastikan fungsionalitasnya. Setiap skenario dirancang untuk menguji pencarian, penghapusan, pembaruan, penambahan data, serta penanganan input valid dan tidak valid. Secara keseluruhan, sistem dapat menangani berbagai operasi data dengan tepat, memberikan umpan balik yang sesuai, menjaga integritas data, dan menampilkan pesan error untuk input tidak valid. Pengujian ini memastikan sistem berfungsi sesuai spesifikasi dan memberikan pengalaman pengguna optimal. Dengan semua 24 skenario pengujian lulus tanpa kegagalan, sistem menunjukkan performa sangat baik dan siap digunakan dalam lingkungan produksi.

3.2 System Usability Scale (SUS)

Pada proses pengujian website ini akan menggunakan usability testing metrik system usability scale (SUS) yang akan menilai secara keseluruhan sistem.

Tabel 2. Jawaban dari pertanyaan metrik SUS

| No | Pertanyaan | Jawaban Responden | | | | | | |
|--|--|-------------------|------|----|----|----|------|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1. | Saya berpikir untuk menggunakan sistem atau aplikasi ini kembali. | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 |
| 2. | Saya merasa sistem atau aplikasi ini kurang berguna untuk digunakan. | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 3. | Saya merasa sistem atau aplikasi ini mudah untuk digunakan. | 4 | 5 | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 |
| 4. | Saya merasa membutuhkan bantuan orang lain dalam menggunakan sistem atau aplikasi ini. | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 5. | Saya merasa fitur-fitur dalam sistem atau aplikasi ini berjalan dengan baik. | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 6. | Saya berpikir terlalu banyak ketidaksesuaian dalam sistem atau aplikasi ini. | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 7. | Saya merasa orang yang baru menggunakan sistem atau aplikasi ini akan dapat mempelajarinya dengan cepat. | 3 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 8. | Saya merasa sistem atau aplikasi ini sangat sulit untuk digunakan dan membingungkan. | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| 9. | Saya tidak merasakan adanya hambatan dalam menggunakan sistem atau aplikasi ini | 3 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 |
| 10. | Saya merasa perlu belajar banyak hal sebelum menggunakan sistem atau aplikasi ini. | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| Total = (nomor ganjil – 1) + (5 – nomor genap) | | 32 | 33 | 34 | 34 | 34 | 33 | 36 |
| Total di kalikan 2.5 | | 80 | 82.5 | 85 | 85 | 85 | 82.5 | 90 |
| Hasil Nilai SUS | | 84,29 | | | | | | |

Berdasarkan hasil evaluasi dan perhitungan menggunakan System Usability Scale (SUS), sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini mendapatkan skor 84,29, yang menempatkannya dalam kategori Kegunaan yang Baik (Good Usability) dengan grade B dalam rentang skala penerimaan. Selain itu, dalam kategori penilaian kualitatif, sistem ini mencapai tingkat Sangat Bagus (Excellent). Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan memiliki tingkat kegunaan yang sangat baik, dengan skor tinggi dalam berbagai aspek kegunaan yang diuji.

3.3 Akurasi Rule Based Reasoning

Dalam penelitian ini, penulis mengembangkan sistem berbasis aturan (rule-based reasoning) untuk seleksi personel dan menguji akurasi menggunakan dataset 100 data personel dalam 13 kali pengujian. Dataset ini dibagi menjadi dua kelompok: 50 data memenuhi kriteria seleksi dan 50 data tidak memenuhi kriteria seleksi, mencakup semua skenario validasi data.

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \times 100 = \frac{50 + 50}{50 + 50 + 0 + 0} \times 100 = 100.00\%$$

Dari hasil di atas, terlihat bahwa sistem rule-based reasoning yang dikembangkan berhasil mencapai tingkat akurasi yang sangat tinggi, yaitu 100%, yang ditunjukkan dengan tidak adanya kesalahan klasifikasi, baik berupa False Positives (FP) maupun False Negatives (FN). True Positives (TP) menunjukkan jumlah personel yang benar-benar memenuhi kriteria seleksi dan berhasil diklasifikasikan dengan benar oleh sistem, sementara True Negatives (TN) menunjukkan jumlah personel yang tidak memenuhi kriteria seleksi dan juga berhasil diklasifikasikan dengan benar oleh sistem. Tidak adanya False Positives (FP) mengindikasikan bahwa tidak ada personel yang seharusnya tidak lolos seleksi namun diklasifikasikan sebagai lolos oleh sistem, dan tidak adanya False Negatives (FN) mengindikasikan bahwa tidak ada personel yang seharusnya lolos seleksi namun diklasifikasikan sebagai tidak lolos oleh sistem.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian, sistem berbasis aturan (rule-based reasoning) yang dikembangkan untuk seleksi personel menunjukkan tingkat akurasi yang sangat tinggi, yaitu 100%. Pengujian menggunakan dataset 100 data personel, terbagi merata menjadi 50 data yang memenuhi kriteria seleksi dan 50 data yang tidak memenuhi kriteria seleksi. Dalam 13 kali pengujian, sistem berhasil mengklasifikasikan semua data dengan benar tanpa kesalahan klasifikasi, terbukti dari tidak adanya False Positives (FP) dan False Negatives (FN). Ini menunjukkan bahwa sistem sangat efektif dan dapat diandalkan dalam menentukan kriteria seleksi personel, memberikan kepercayaan tinggi untuk penggunaan di lingkungan operasional. Berdasarkan hasil Blackbox Testing, sistem menunjukkan performa optimal dengan seluruh skenario pengujian lulus, mampu menangani berbagai operasi data dengan tepat dan menjaga integritas data, menunjukkan reliabilitas tinggi dan kesiapan untuk digunakan dalam lingkungan produksi. Direkomendasikan untuk melanjutkan implementasi dan penggunaan sistem dengan pengujian lanjutan serta pemantauan berkala. Secara keseluruhan, sistem memenuhi semua ekspektasi dan persyaratan, menunjukkan fungsionalitas yang andal dalam situasi operasional sebenarnya. Evaluasi menggunakan System Usability Scale (SUS) menunjukkan tingkat kegunaan sangat baik dengan skor 84,29, menempatkannya dalam kategori Kegunaan yang Baik (Good Usability) dengan grade B. Penilaian kualitatif mencapai tingkat Sangat Bagus (Excellent), menegaskan bahwa sistem ini mudah digunakan, efisien, dan meminimalkan kesalahan pengguna, sehingga layak digunakan dalam praktik.

Daftar Pustaka

- [1] R. Raenida and Z. Zuhri, "Sistem Pakar Diagnosis Dini Penyakit Katarak Menggunakan Metode Rule Based Reasoning," Seminar Nasional Informatika Medis (SNIMed) 2019, vol. 4, 2019.
- [2] A. M. Fajar, Penerapan metode user centered design (ucd) pada web AIS UIN Jakarta dengan standar ISO 9241-210. 2021.
- [3] A. Ouatiq, K. El-Guemmat, K. Mansouri, and M. Qbadou, "A design of a multi-agent recommendation system using ontologies and rule-based reasoning: Pandemic context," International Journal of Electrical and Computer Engineering, vol. 12, no. 1, 2022, doi: 10.11591/ijece.v12i1.pp515-523.
- [4] M. Tambunan, "PEMBUATAN DESAIN ANTARMUKA INFORMASI MAGANG PRODI INFORMATIKA UNIVERSITAS KRISTEN DUTA WACANA BERBASIS WEB," Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan, vol. 11, no. 3, 2023, doi: 10.23960/jitet.v11i3.3295.
- [5] S. Wardani, I. G. M. Darmawiguna, and N. Sugihartini, "Usability Testing Sesuai Dengan ISO 9241-11 Pada Sistem Informasi Program Pengalaman Lapangan Universitas Pendidikan Ganesha Ditinjau Dari Pengguna Mahasiswa," Kumpulan Artikel Mahasiswa Pendidikan Teknik Informatika (KARMAPATI), vol. 8, no. 2, 2019, doi: 10.23887/karmapati.v8i2.18400.
- [6] F. L. I. Dutsinma, D. Pal, S. Funilkul, and J. H. Chan, "A Systematic Review of Voice Assistant Usability: An ISO 9241–11 Approach," SN Comput Sci, vol. 3, no. 4, 2022, doi: 10.1007/s42979-022-01172-3.



ISSN



E-ISSN
