

RANCANG BANGUN PURWARUPA SISTEM REGISTRASI MASUK PINTU TOLL UNTUK KENDARAAN MENGGUNAKAN LONG RANGE RADIO (LORA)

Ferdo Nainggolan¹, Regina Caily¹, Sari Lubis¹, Ngurah Indra ER², I Putu Elba Duta Nugraha²

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

²Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Kampus Bukit, Jl Raya Kampus Unud Jimbaran, Kuta Selatan, Badung, Bali 80631
ferdonainggolan07@gmail.com, cailyregina@gmail.com, sarilubis9181@gmail.com,
indra@unud.ac.id, elba.nugraha@unud.ac.id

ABSTRAK

Kurangnya efisiensi pada sistem pintu tol merupakan salah satu penyebab utama kemacetan lalu lintas di jalan tol. Kondisi ini memerlukan solusi yang inovatif untuk mendeteksi dan memproses informasi kendaraan sebelum kendaraan mencapai pintu tol. Penelitian ini bertujuan untuk membangun sebuah purwarupa yang menggunakan teknologi ESP32, LoRa, GPS, OLED dan *Internet of Things (IoT)* untuk memberikan solusi pada masalah ini. Purwarupa yang dikembangkan menggunakan ESP32 sebagai mikrokontroler utama, LoRa untuk komunikasi jarak jauh, GPS untuk melacak lokasi kendaraan, dan OLED sebagai tampilan informasi. Sistem ini dirancang untuk kendaraan melakukan registrasi secara *real-time*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa purwarupa ini dapat berfungsi dengan baik dalam melakukan registrasi terhadap data kendaraan yang akan masuk pintu *toll* secara jarak jauh. Dengan implementasi teknologi ini, diharapkan dapat mengurangi waktu tunggu bagi pengguna jalan tol yang disebabkan oleh lamanya waktu antrean kendaraan pada sistem registrasi kendaraan yang akan masuk pintu tol konvensional.

Kata Kunci: Long Range Radio (LoRa), *Internet of Things (IoT)*, Pemantauan *Real-Time*

ABSTRACT

The inefficiency of toll gate systems is one of the main causes of traffic congestion on toll roads. This condition requires an innovative solution to detect and process vehicle information before the vehicle reaches the toll gate. This study aims to develop a prototype that uses ESP32, LoRa, GPS, OLED, and Internet of Things (IoT) technology to provide a solution to this problem. The developed prototype uses ESP32 as the main microcontroller, LoRa for long-distance communication, GPS to track the vehicle's location, and OLED as the information display. This system is designed for vehicles to perform real-time registration. The test results show that this prototype can function well in registering vehicle data that will enter the toll gate remotely. With the implementation of this technology, it is expected to reduce the waiting time for toll road users caused by the long queue times of vehicles at conventional toll gate registration systems.

Key Words: Long Range Radio (LoRa), *Internet of Things (IoT)*, *Real-Time Monitoring*

1. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi memunculkan harapan akan segalanya berjalan otomatis, namun kemacetan jalan tetap menjadi masalah besar dengan dampak negatif seperti pemborosan waktu, konsumsi energi yang tidak efisien, dan stres bagi

pengemudi. Pemerintah telah berusaha mengatasi masalah ini dengan membangun jalan tol untuk mengurangi kemacetan. Namun, pembayaran tarif menggunakan *e-toll* seringkali menyebabkan kemacetan akibat saldo *e-toll* yang kurang dan *ID* yang tidak dikenal, sehingga membutuhkan waktu

lebih lama untuk melakukan *tapping* kartu [1].

Salah satu solusi terbaru untuk mengatasi masalah ini adalah penggunaan teknologi LoRa dalam sistem registrasi kendaraan di pintu tol. LoRa menawarkan jangkauan jarak jauh dengan konsumsi energi rendah [2], cocok untuk jalan pintar, dan lebih ekonomis. Dengan LoRa, terminal bergerak dapat mengirim informasi seperti posisi, plat kendaraan, dan saldo *e-toll* ke terminal tol, mengurangi kemacetan, meningkatkan efisiensi bahan bakar, serta keamanan dan kenyamanan pengguna tol. Penerapan ini dapat mengurangi kemacetan hingga 30% dan memangkas waktu perjalanan sekitar 13-45% [3], serta mengurangi konsumsi bahan bakar akibat kemacetan sekitar 10% [4].

Penelitian ini merancang purwarupa sistem registrasi kendaraan masuk pintu tol menggunakan teknologi LoRa, dengan tujuan memberikan solusi ekonomis yang meningkatkan keamanan dan kenyamanan pengguna tol melalui sistem registrasi yang lebih efisien. Sistem ini memerlukan perangkat pengirim dan penerima yang mampu berkomunikasi dalam jangkauan jauh maupun dekat, menggabungkan berbagai komponen elektronik untuk berbagi informasi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Komunikasi Antara Terminal Bergerak dan Terminal Tol

Sistem yang memfasilitasi interaksi antara terminal bergerak dan terminal tol memungkinkan kendaraan berkomunikasi melalui gelombang radio dengan mentransmisikan dan menerima informasi data. Tujuan dari penerapan purwarupa sistem komunikasi antara terminal bergerak dan terminal tol adalah untuk meningkatkan efisiensi dan keselamatan penggunaan jalan tol. Komunikasi antara terminal bergerak dan terminal tol dalam sistem ini menggunakan konsep sistem komunikasi nirkabel bergerak yang dapat mengirim data secara *real-time*.

2.2 Internet of Things

IoT (Internet of Things) merupakan suatu konsep yang bertujuan untuk memperluas manfaat dari konektivitas internet yang tersambung secara terus menerus. Pada dasarnya *IoT* mengacu pada

benda yang dapat diidentifikasi secara unik sebagai *representative virtual* dalam struktur berbasis internet. Cara kerja *IoT* adalah interaksi antara sesama mesin yang terhubung secara otomatis tanpa campur tangan *user* dan dalam jarak berapa pun.

2.3 LoRa SX1278 Ra-02 Module

LoRa merupakan sebuah sistem komunikasi *Low Power Wide Area Network (LPWAN)* yang memiliki kemampuan transmisi jarak jauh yang didukung pengembangannya oleh IBM, Semtech, Actility, dll, yang tergabung dalam *LoRa Alliance*. LoRa memiliki jarak jangkauan yang cukup jauh dibanding dengan teknologi komunikasi yang lain dan mempunyai konsumsi daya yang rendah. Akan tetapi pada teknologi LoRa memiliki kekurangan yaitu nilai *maximum rate* masih jauh dibanding dengan teknologi *WiFi* [5]. Jarak komunikasi yang dapat dicapai antara *LoRa Sender* dan *LoRa Receiver* tergantung pada lingkungan operasi perangkatnya. Dalam kondisi urban dengan banyak hambatan, jaraknya mungkin sedikit lebih pendek dibandingkan dengan kondisi lingkungan rural atau terbuka.

2.4 Antena LoRa SX1278

Antena adalah komponen esensial dalam sistem komunikasi nirkabel yang berfungsi untuk memancarkan dan menerima sinyal elektromagnetik. Antena LoRa SX1278 beroperasi pada frekuensi 433 MHz, yang merupakan bagian dari pita frekuensi *ISM (Industrial, Scientific, and Medical)*. Prinsip kerja antena ini adalah dengan mengubah sinyal listrik dari modul LoRa menjadi gelombang elektromagnetik saat transmisi, dan sebaliknya saat penerimaan. Antena LoRa SX1278 433 MHz 6 dBi adalah salah satu jenis antena yang digunakan dalam aplikasi LoRa (*Long Range*) untuk komunikasi jarak jauh dengan daya rendah, ideal untuk aplikasi *Internet of Things (IoT)*.

2.5 Radio Frequency LoRa

LoRa memiliki frekuensi diatas 433/868 MHz pada negara Eropa, sedangkan untuk negara Amerika Serikat menggunakan frekuensi 915 MHz [6]. LoRa merupakan sistem telekomunikasi nirkabel jarak jauh, berdaya rendah, *bitrate* rendah yang digunakan sebagai solusi infrastruktur untuk *Internet of Things* [7]. Pada penelitian

ini LoRa akan menjadi jembatan dalam perangkat yang terhubung untuk menyampaikan pesan dari terminal bergerak ke terminal tol.

2.6 Mikrokontroler ESP32

ESP32 merupakan suatu *chip* mikrokontroler dengan sistem daya yang kecil dan harga terjangkau [8]. Perangkat ini dilengkapi dengan *Wi-Fi* 802.11 b/g/n/e/i dan *bluetooth* versi 4.2 mode ganda yang memungkinkan dalam pembuatan aplikasi berbasis *IoT (Internet of Things)*. Keunggulan ESP32 dibanding kan mikrokontroler ESP8266 yaitu memiliki sistem dengan biaya yang lebih terjangkau dan konsumsi daya yang lebih rendah. Selain itu, perangkat ini juga bersifat fleksibel dengan adanya modul *Wi-Fi* yang terintegrasi pada *chip* dan *bluetooth* dengan mode ganda. ESP32 dapat digunakan sebagai sistem mandiri yang lengkap atau dioperasikan sebagai perangkat pendukung mikrokontroler *host*. Pada pengusulan penelitian ini ESP32 berfungsi sebagai mikrokontroler utama untuk perangkat yang akan dirancang.

2.7 NEO6MV2 GPS (Global Positioning System) Module

GPS (Global Positioning System) merupakan suatu sistem satelit penentuan posisi dan navigasi yang dapat menghitung posisi ketinggian titik terhadap muka laut rata-rata dan dimiliki serta dikelola oleh pemerintah Amerika Serikat [9]. Sistem ini di desain sebagai penentuan posisi dengan sistem 3 dimensi beserta informasi mengenai waktu, secara berlanjut dan real-time pada seluruh dunia tanpa bergantung cuaca secara simultan. Modul GPS uBlox NEO6MV2 bertindak sebagai penerima GPS yang dapat mendeteksi posisi dengan memperoleh memproses sinyal dari satelit navigasi.

2.8 OLED (Organic Light-Emitting Diode) Display

OLED (Organic Light-Emitting Diode) display merupakan suatu perangkat yang tersusun dari senyawa organik dan dapat memancarkan cahaya ketika dialiri arus Listrik[10]. *OLED display* memiliki spesifikasi berupa SSD1360 *driver IC*, visualisasi sudut lebih dari 160°, I2C hanya menggunakan 2I/O kontrol pin, dan bekerja pada tegangan 3,3V sampai 6V[11].

Penggunaan OLED pada penelitian ini bertujuan untuk memunculkan informasi yang diterima pada saat pertukaran data.

2.9 Delay pada Jaringan LoRa

Delay atau *latency* merupakan keterlambatan waktu transmisi data dari pengirim ke penerima. *Delay* dalam suatu transmisi data disebabkan oleh adanya antrian pada kanal, jarak transmisi, dan media fisik. Perhitungan *delay* pada penelitian ini diperlukan untuk menentukan standar ideal pengembangan sistem registrasi kendaraan masuk pintu tol. Persamaan untuk menghitung *delay* dapat dilihat pada persamaan 1 berikut ini [12].

$$Delay\ rata - rata = \frac{Total\ Delay}{Total\ packet\ yang\ diterima} \quad (1)$$

Kategori dan indeks *delay* menurut TIPHON (*Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Network*) yang menjadi suatu standar penilaian parameter *QoS (Quality of Service)* adalah seperti pada tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Kategori Delay

Kategori Delay	Besar Delay	Indeks
Sangat Baik	< 150 ms	4
Baik	150 – 300 ms	3
Cukup	300 – 450 ms	2
Buruk	> 450 ms	1

Dalam konteks jaringan komunikasi ada hal penting untuk memahami variabilitas kinerja jaringan yaitu hubungan antara *delay* dan standar deviasi. Standar deviasi adalah ukuran statistik yang menunjukkan seberapa banyak variasi atau *disperse* dari nilai rata-rata suatu set data. Dalam konteks *delay*, standar deviasi mengukur variasi atau fluktuasi waktu *delay* antara pengiriman data yang berbeda. Persamaan untuk menghitung standar deviasi dapat dilihat pada persamaan 2 berikut ini[13].

$$s^2 = \frac{\sum(x_i - x)^2}{n - 1} \quad (2)$$

Untuk menentukan nilai standar deviasi rendah atau tinggi, perlu diperhatikan perbandingan dengan nilai rata-rata atau menggunakan koefisien variasi. Dengan pendekatan ini, maka dapat diinterpretasikan nilai standar deviasi dalam konteks yang relevan dan membuat keputusan berdasarkan analisis tersebut.

2.10 Packet Loss

Packet loss merupakan jumlah paket data yang gagal mencapai penerima pada proses transmisi. Tujuan melakukan perhitungan *packet loss* adalah untuk mencari informasi mengenai unjuk kerja dari purwarupa, karena *packet loss* memiliki artian informasi atau *packet* yang ditransmisikan tidak sampai kepada penerima. Perhitungan *packet loss* dapat dilihat pada persamaan 3 berikut ini.

$$Packet Loss = \frac{Paket\ Kirim - Paket\ Terima}{Paket\ Kirim} \times 100\% \quad (3)$$

Kategori dan indeks *packet loss* menurut TIPHON (*Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Network*) yang menjadi suatu standar penilaian parameter QoS (*Quality of Service*) adalah seperti pada tabel 2 berikut ini [12].

Tabel 2. Kategori *Packet Loss*

Kategori <i>Packet Loss</i>	<i>Packet Loss</i>	Indeks
Sangat Baik	0 – 2%	4
Baik	3 – 14%	3
Cukup	15 – 24%	2
Buruk	> 25%	1

2.11 CoolTerm

CoolTerm merupakan suatu perangkat lunak *serial port* sederhana yang digunakan untuk pertukaran dan perekaman data dengan perangkat keras seperti mikrokontroler, arduino, kontroler servo, kit robot, dan penerima GPS. Penggunaan CoolTerm pada penelitian ini adalah untuk menampilkan hasil pencatatan dan perekaman data dari serial monitor arduino IDE. *Software* ini cocok digunakan untuk aplikasi *monitoring* suhu serial monitor arduino yang telah terprogram [14].

3. METODE PENELITIAN

Pengerjaan penelitian ini dilakukan pada Program Studi Teknik Elektro Universitas Udayana, Kampus Bukit, Jimbaran dan pengujian dilakukan pada jalan BPPT Pura Candi Narmada, Denpasar. Untuk melaksanakan penelitian ini, Langkah-langkah yang diambil adalah:

1. Studi literatur mengenai sistem registrasi kendaraan masuk pintu toll, modul ESP32, GPS, OLED dan LoRa
2. Perancangan skematis dan layout rangkaian elektronik purwarupa sistem registrasi kendaraan masuk pintu tol.

3. Konfigurasi dan integrasi antarmuka sistem registrasi kendaraan masuk pintu tol dengan teknologi LoRa.
4. Pengujian dan evaluasi kerja sistem registrasi kendaraan masuk pintu tol dengan teknologi LoRa dalam berbagai skenario dan kondisi.

4. HASIL PERANCANGAN

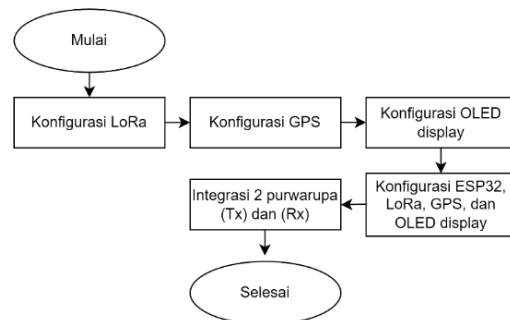
4.1 Hasil Perancangan

Proses perancangan purwarupa sistem registrasi masuk pintu toll untuk kendaraan menggunakan *long range radio* (LoRa) melalui dua mekanisme sebagai berikut :

1. Perancangan perangkat keras komunikasi nirkabel antara terminal bergerak dan terminal tol.
2. Integrasi dan Konfigurasi antarmuka komunikasi nirkabel antara terminal bergerak dan terminal tol.

4.1.1 Perancangan Perangkat Keras Sistem Komunikasi antara Terminal Bergerak dan Terminal Tol

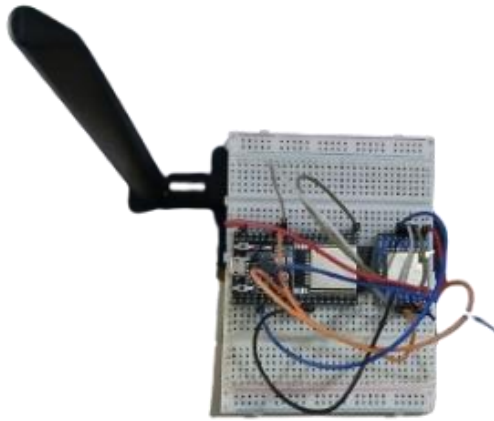
Perangkat keras sistem komunikasi antara terminal bergerak dan terminal tol dirancang dengan beberapa komponen elektronika, yaitu ESP32, LoRa, GPS dan OLED *display*.



Gambar 1. *Flowchart* Proses Konfigurasi dan Integrasi Perangkat Elektronika

A. Konfigurasi LoRa *Wireless Module*

Proses konfigurasi ini dilakukan dengan menggunakan komponen ESP32 dan LoRa yang dikoneksikan sesuai dengan tabel 3. Hasil konfigurasi dapat dilihat pada gambar 2 berikut ini.



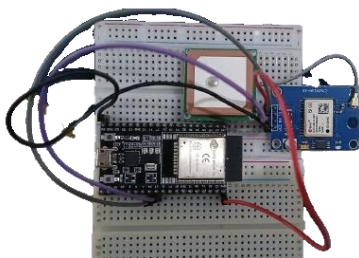
Gambar 2. Hasil Konfigurasi LoRa dengan ESP32

Tabel 3. Koneksi Pin LoRa dengan ESP32

PIN SX1278	PIN ESP32
GND	GND
VCC	3.3 V
NSS	D5
MOSI	D12
MISO	D19
SCK	D18
RST	D14
DIO0	D2

B. Konfigurasi GPS (Global Positioning System)

Proses konfigurasi ini dilakukan dengan menggunakan komponen ESP32 dan GPS yang dikoneksikan sesuai dengan tabel 4. Hasil konfigurasi dapat dilihat pada gambar 3 berikut ini.



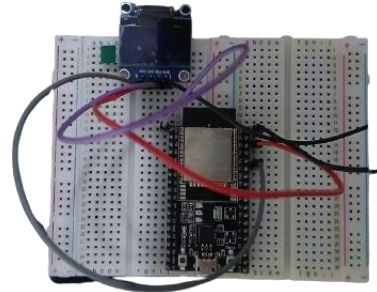
Gambar 3. Hasil Konfigurasi LoRa dengan GPS

Tabel 4. Koneksi Pin GPS dengan ESP32

PIN NEO06MV2	PIN ESP32
GND	GND
TX	D16
RX	D17
VCC	VCC

C. Konfigurasi OLED Display

Proses konfigurasi ini dilakukan dengan menggunakan komponen ESP32 dan OLED yang dikoneksikan sesuai dengan tabel 5. Hasil konfigurasi dapat dilihat pada gambar 4 berikut ini.



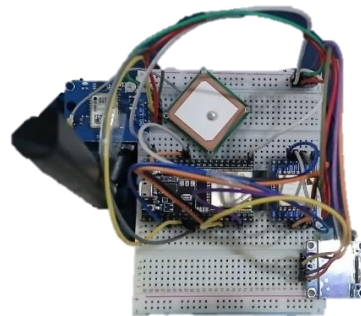
Gambar 4. Hasil Konfigurasi OLED dengan ESP32

Tabel 5. Koneksi Pin OLED dengan ESP32

PIN OLED	PIN ESP32
SDA	D21
SCL	D22
VCC	VCC
GND	GND

D. Konfigurasi ESP32, LoRa, GPS dan OLED Display

Proses konfigurasi ini dilakukan dengan menggunakan komponen ESP32, LoRa, GPS dan OLED. Hasil konfigurasi dapat dilihat pada gambar 5 berikut ini.



Gambar 5. Hasil Konfigurasi ESP32, LoRa, GPS dan OLED Display

Pada tahap ini dilakukan 2 pemrograman, yaitu untuk perangkat terminal bergerak dan terminal tol. Kedua program memiliki alur yang berbeda. Komunikasi serial antar dua perangkat disetting dengan *baudrate* 115200. Ini berarti pada saat mengamati hasil transmisi data pada serial monitor Arduino IDE harus

di setting *baudrate* sebesar 115200 terlebih dahulu. Hasil akhir dari konfigurasi ini adalah kedua perangkat mampu berjalan untuk mengirim dan menerima data.

E. Integrasi 2 Purwarupa (Terminal Bergerak dan Terminal Tol)

Setelah melakukan konfigurasi masing-masing komponen, maka dihasilkan dua unit perangkat yang berperan sebagai terminal bergerak dan terminal tol. Dua purwarupa tersebut berperan sebagai OBU (*On Board Unit*) yang dapat diletakkan pada terminal kendaraan dan terminal tol untuk mengirim dan menerima data. Pada pengerjaan penelitian ini, kedua perangkat keras dapat berkomunikasi berupa teks. Proses integrasi dikatakan berhasil ketika kedua perangkat dapat saling berkomunikasi. Apabila perangkat terminal bergerak mengalami kerusakan, maka data tidak akan sampai pada perangkat terminal tol.

4.1.2 Integrasi dan Konfigurasi Antarmuka Perangkat Lunak Sistem Komunikasi antara Terminal Bergerak dan Terminal Tol

Pada penelitian ini, coolterm digunakan sebagai alat bantu untuk menampilkan data yang dikirim oleh terminal bergerak ke terminal tol. Data yang dikirim adalah posisi, plat nomor dan saldo *e-toll*. Data registrasi yang diterima dipersiapkan untuk proses pembukaan pintu tol pada penelitian lebih lanjut. Proses integrasi dan konfigurasi perangkat lunak dapat dilihat pada gambar 6 berikut ini.



Gambar 6. Flowchart Integrasi dan Konfigurasi Antarmuka Perangkat Lunak Sistem Komunikasi

5. HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengujian Parameter Uji

Pengujian terhadap perangkat yang dirancang dalam penelitian dilakukan dalam mode komunikasi yang telah ditentukan sebelumnya, yaitu mode simplex karena kedua purwarupa yang sudah terintegrasi berperan sebagai perangkat pengirim atau penerima. Dalam komunikasi ini perangkat yang telah dirancang akan mengirim dan menerima informasi data string berupa "*longitude | latitude | plat number | balance*". Ukuran data yang ditransmisikan adalah 35 *byte* per teks. Adapun pengujian terhadap kedua perangkat dilakukan dengan kondisi *Mobile State* (bergerak) mendekati terminal tol dengan variasi jarak 100 m, 500 m dan 1 km. Pengujian pada masing-masing jarak dilakukan sebanyak 5 kali untuk memastikan kemampuan alat dalam melakukan transmisi data string berupa teks. Pada kondisi ini diamati pengiriman 450 paket data dengan waktu tunggu perangkat 500 ms atau 0,5 sekon. Standar yang digunakan merupakan standar TIPHON, namun secara teori, standar tersebut hanya dapat

diaplikasikan untuk transmisi yang dilakukan sebanyak sekali dan bukan transmisi dua arah atau *round-trip*, sehingga penggunaan standar ini hanya untuk memberikan penggambaran mengenai kualitasnya bila disandingkan dengan standar TIPHON. Hasil pengujian dengan variasi jarak 100, 500 dan 1000 meter dapat dilihat pada tabel 6, 7 dan 8 berikut ini.

Tabel 6. Hasil Pengujian Jarak 100 Meter

Pengujian	Delay Rata-Rata(ms)	Standar Deviasi (ms)	TIPHON Delay	Packet Loss (%)	TIPHON Packet Loss
Pengujian ke-1	0,4878	0,02039	Sangat Baik	0,0333	Sangat Baik
Pengujian ke-2	0,4624	0,02385	Sangat Baik	0	Sangat Baik
Pengujian ke-3	0,4727	0,02155	Sangat Baik	0	Sangat Baik
Pengujian ke-4	0,4839	0,02491	Sangat Baik	0	Sangat Baik
Pengujian ke-5	0,4725	0,02211	Sangat Baik	0	Sangat Baik
Rata-Rata	0,47586	0,022562	Sangat Baik	0,0066	Sangat Baik

Tabel 7. Hasil Pengujian Jarak 500 Meter

Pengujian	Delay Rata-Rata (ms)	Standar Deviasi (ms)	TIPHON Delay	Packet Loss (%)	TIPHON Packet Loss
Pengujian ke-1	0,4856	0,02393	Sangat Baik	0,0666	Sangat Baik
Pengujian ke-2	0,4839	0,02013	Sangat Baik	0,1	Sangat Baik
Pengujian ke-3	0,4856	0,02152	Sangat Baik	0,1	Sangat Baik
Pengujian ke-4	0,4902	0,02107	Sangat Baik	0,0666	Sangat Baik
Pengujian ke-5	0,4881	0,02054	Sangat Baik	0,0666	Sangat Baik
Rata-Rata	0,4866	0,021438	Sangat Baik	0,0799	Sangat Baik

Tabel 8. Hasil Pengujian Jarak 1 Kilometer

Pengujian	Delay Rata-Rata (ms)	Standar Deviasi (ms)	TIPHON Delay	Packet Loss (%)	TIPHON Packet Loss
Pengujian ke-1	0,4922	0,02158	Sangat Baik	0,1666	Sangat Baik
Pengujian ke-2	0,4889	0,02182	Sangat Baik	0,1333	Sangat Baik
Pengujian ke-3	0,4912	0,02121	Sangat Baik	0,1333	Sangat Baik
Pengujian ke-4	0,4887	0,02128	Sangat Baik	0,2	Sangat Baik
Pengujian ke-5	0,4849	0,02015	Sangat Baik	0,1666	Sangat Baik
Rata-Rata	0,4891	0,021208	Sangat Baik	0,15996	Sangat Baik

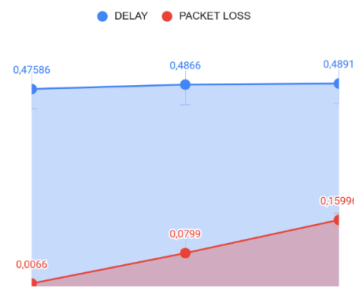
5.2 Analisa Hasil Pengujian

Pengujian purwarupa dilakukan pada Pura Luhur Candi Narmada Tanah Kilap, Denpasar. Lokasi tersebut dipilih karena memiliki jalur yang sesuai dengan skenario uji. Mode komunikasi diujikan dalam kondisi bergerak dengan variasi jarak dan kecepatan yang sama. Skenario pengujian ditampilkan pada gambar 7 berikut.



Gambar 7. Skenario Pengujian Terminal Bergerak Mendekati Terminal Tol

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada mode komunikasi simplex, nilai *delay* dan *packet loss* yang didapatkan memiliki hasil dengan variasi yang berbeda. Pada pengujian ini ditransmisikan paket data sebanyak 450. Pengujian ini dilakukan dengan kondisi bergerak yang berpatokan pada variasi jarak 100 meter, 500 meter dan 1 kilometer dalam skenario terminal bergerak mendekati terminal tol. Pada masing-masing jarak diamati pengiriman paket dengan jumlah 150 paket. Nilai *delay* dan *packet loss* pada pengujian ini ditampilkan pada gambar 8 berikut .



Gambar 8. Grafik Rata-rata Delay dan Packet Loss

Berdasarkan nilai *delay* yang ditampilkan pada gambar 8, nilai *delay* pada jarak 100 meter, 500 meter, dan 1 kilometer adalah 0,47586 ms, 0,4866 ms dan 0,4891 ms. Berdasarkan standar TIPHON, nilai *delay* yang didapatkan berada pada indeks 4 dengan kategori sangat baik. Pengujian ini memiliki standar deviasi yang rendah yaitu 0,022946 ms, 0,0218 ms, dan 0,02157 ms menunjukkan bahwa *delay* pengiriman data cukup konsisten dan tidak bervariasi banyak dari pengiriman ke pengiriman.

Untuk nilai *packet loss* ditampilkan pada gambar 8, nilai *packet loss* pada jarak 100 meter, 500 meter, dan 1 kilometer adalah 0,0066%, 0,0799%, dan 0,15996%. Berdasarkan standar TIPHON, nilai *packet loss* yang didapatkan berada pada indeks 4 dengan kategori sangat baik.

Berikut adalah faktor yang mempengaruhi adanya *delay* dan *packet loss* pada mode simplex dengan kondisi bergerak.

1. Faktor Delay

Berdasarkan hasil pengujian untuk sistem komunikasi antara terminal bergerak dan terminal tol, *propagation delay* menyebabkan nilai *delay* rata-rata meningkat karena jarak antara perangkat

meningkat. Propagasi adalah proses transmisi gelombang radio nirkabel dari perangkat *transmitter* (Tx) ke *receiver* (Rx). Untuk *propagation delay*, mengenai pengaruh jarak terhadap *delay* [15]. Semakin jauh jarak antara perangkat pengirim dengan perangkat penerima, maka semakin besar juga nilai *delay* yang dihasilkan. Faktor lain yang menjadi penyebab adanya *delay* pada proses komunikasi adalah *processing*. *Processing* pada perangkat pengirim (Tx) dan perangkat penerima (Rx) dapat menyebabkan adanya *delay* komunikasi. *Processing* pada perangkat pengirim atau *transmitter processing* dapat menyebabkan adanya *delay* karena terdapat proses komputasi data dan penambahan header.

2. Faktor Packet Loss

Salah satu penyebab terjadinya *packet loss* adalah *multipath fading*. Proses yang disebut *multipath fading* merupakan suatu proses perambatan sinyal dari pengirim ke penerima dengan lintasan yang berbeda. Lintasan yang berbeda disebabkan oleh adanya pemantulan, pembelokan, ataupun hamburan sinyal akibat gedung, pohon, dan objek lain di lingkungan sekitar. Jika tidak ada *multipath fading*, jarak transmisi maksimal LoRa SX1278 dengan frekuensi 433 MHz adalah 2-5 km di *Urban Areas* (perkotaan), 5-15 km di *Rural Areas* (pinggiran kota), dan >15 km di *Line of Sight* [16]. Lokasi pengujian penelitian yang berupa lintasan jalan lurus dengan pohon dan kendaraan melintas di sekitarnya dapat menyebabkan adanya *multipath fading* sehingga mengurangi jangkauan jarak transmisi menjadi maksimal jarak 1.5 km.

Faktor lain yang dapat menyebabkan *packet loss* adalah *pathloss*. *Pathloss* merupakan proses melemahnya atau hilangnya kekuatan daya sinyal informasi yang ditransmisikan dari antena pengirim (Tx) ke antena penerima (Rx) ketika melalui media udara [17]. Faktor yang menyebabkan terjadinya *pathloss*, yaitu jarak antara antena pengirim dan penerima, tinggi antena, dan area pengukuran. *Pathloss* juga disebabkan adanya *physic propagation* [18]. *Pathloss* dapat mengurangi kekuatan sinyal untuk mencapai penerima. Ketika sinyal yang diterima memiliki kekuatan yang rendah, maka akan menyebabkan suatu kesalahan dalam proses deteksi bit. Apabila sinyal

yang diandalkan terlalu lemah, maka penerima akan tidak dapat mengidentifikasi bit dengan akurat, sehingga menyebabkan adanya *packet loss*. Kemudian, *pathloss* juga dapat meningkatkan interferensi atau gangguan elektromagnetik dari sinyal.

6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari berbagai perancangan, pengujian serta Analisa yang dilakukan pada penelitian Rancang Bangun Sistem Registrasi Masuk Pintu Toll didapatkan beberapa kesimpulan, diantaranya :

1. Telah berhasil dirancang, dibangun dan diintegrasikan purwarupa komunikasi terminal bergerak dan terminal tol dengan modul LoRa dengan ESP32, GPS, dan OLED. Integrasi dilakukan dengan memastikan satu persatu bagian dapat berfungsi sesuai dengan rancangan yang telah dibuat, konfigurasi dilakukan dengan menghubungkan ESP32 dengan LoRa, ESP32 dengan GPS, ESP32 dengan OLED, serta ESP32 dengan LoRa, GPS dan OLED.
2. Telah berhasil diintegrasikan dan konfigurasi antarmuka perangkat lunak dengan purwarupa yang dibangun menggunakan CoolTerm yang dapat memvisualisasikan data registrasi dari terminal bergerak, dimana data registrasi digunakan untuk mempersiapkan pembukaan pintu tol pada penelitian lebih lanjut.
3. Telah berhasil diuji dan dianalisis purwarupa sistem yang dibangun berdasarkan jarak transmisi dan tingkat keberhasilan pengiriman data dengan mode komunikasi simplex. Pada pengujian ini perangkat pengirim bergerak mendekati perangkat penerima, didapatkan *delay* dan *packet loss* yang semakin besar seiring bertambahnya jarak. Keberhasilan registrasi kendaraan dapat disimpulkan dari waktu pengiriman dibawah 500 ms dan data yang diterima lengkap.
4. Perancangan purwarupa sistem komunikasi nirkabel yang bersifat low-cost sudah mampu bekerja untuk mengirimkan data dengan perolehan nilai parameter uji sesuai standar TIPHON (*Telecommunication and Internet Protocol Harmonization Over*

Network). Nilai *delay* dan *packet loss* yang didapatkan berada pada kategori sangat baik dengan indeks 4 sesuai standar TIPHON.

6.2 Saran

Melalui serangkaian perancangan, pengujian dan analisa yang dilakukan beberapa hal juga dapat disarankan diantaranya :

1. Dalam perancangan dan melakukan integrasi terhadap perangkat elektronika yang digunakan , perlu untuk melakukan *checking* terhadap *datasheet* dan juga batasan tegangan maksimal untuk menghindari kerusakan pada perangkat elektronika.
2. Pada pengujian, perlu diperhatikan untuk hambatan di lokasi pengujian purwarupa. Hal ini tentunya dapat mempengaruhi kerja dari purwarupa di dalam pengujian.
3. Pada pengujian juga perlu diperhatikan variasi antenna karena variasi antenna memainkan peran penting dalam kinerja dan efisiensi komunikasi. Variasi antenna akan mempengaruhi jarak dan jangkauan transmisi, peningkatan kinerja dan efisiensi energi.
4. Penambahan beberapa sensor tentu disarankan untuk pengembangan lebih lanjut terhadap purwarupa yang telah dihasilkan saat ini. Dengan kategori pada pengujian yang tergolong sangat baik, tentu penambahan serangkaian sensor dapat memberikan penggunaan lebih baik sehingga data riil terkait lingkungan sekitar dapat diaplikasikan.

7. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sari, D., Takariani, C. S. D., Praditya, D., & Puspitasari, L. Analisis Strategis Kabupaten Subang Menuju Smart City. *Jurnal Penelitian Komunikasi*, 23(2). 2020.
- [2] Haque, K. F., Abdelgawad, A., Yanambaka, V. P., & Yelamarthi, K. Lora architecture for v2x communication: An experimental evaluation with vehicles on the move. *Sensors (Switzerland)*, 20(23),1–26. 2020.
- [3] Jumaah, I. K., Mohammed, T. J., & Mesrop, S. S. Study the Importance of Intelligent Transportation Systems in Solving Congestion Problems within the City and Conservation of the Environment. *International Conference on Sustainable Engineering Techniques (ICSET 2019)*, 518(2), 1–15. 2019.
- [4] Yogha, K. B. (2021). A Study of V2V Communication on VANET: Characteristic, Challenges and Research Trends. *JISA (Jurnal Informatika Dan Sains)*, 4(1), 46–58.
- [5] Aliffiyah, M. Rancang Bangun Sistem Monitoring Keamanan Laboratorium Menggunakan Komunikasi Long Range (LORA) Berbasis Android (Doctoral dissertation, Politeknik Negeri Sriwijaya). 2021.
- [6] Andrei, M. L., Radoi, L. A., & Tudose, D. S. Measurement of node mobility for the lora protocol. *2017 16th RoEduNet Conference: Networking in Education and Research (RoEduNet)*. 2017.
- [7] Aloÿs., Augustin., Jiazi Y., Thomas C., William M. A Study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things. *16(9)*, 1466. 2016.
- [8] Pravalika, V., & Prasad, Ch. R. Internet of Things Based Home Monitoring and Device Control Using Esp32. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, 8(1), 2277–3878. 2019.
- [9] Novianta, M. A., & Setyaningsih, E. Sistem Informasi Monitoring kereta api berbasis web server menggunakan layanan GPRS. *Jurnal Momentum*, 17(2), 58-67. 2015.
- [10] Setyawan, L. B. Prinsip Kerja dan Teknologi OLED. *Techné : Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, 16(2), 121–132. 2017.
- [11] Pardhasaradhi, P., Rekha, V. S. D., Gangadhar, T. V. S., & Venkatesh, Ch. Design and Analysis of Reliable and Effective Health Care System. In R. K. Goel (Ed.), *2nd International Conference*

- on “Advancement in Electronics & Communication Engineering (AECE 2022)” (pp.709–713). 2022.
- [12] Utami, P. R. Analisis Perbandingan Quality Of Service Jaringan Internet Berbasis Wireless Pada Layanan Internet Service Provider (Isp) Indihome Dan First Media. *Jurnal Ilmiah Teknologi Dan Rekayasa*, 25(2), 125–137. 2020.
- [13] Febriani, S. Analisis Deskriptif Standar Deviasi. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 6(1), 910–913. 2022.
- [14] Rifa'i, A. Rancangan dan Uji Kinerja Alat Pengontrol Suhu Otomatis Berbasis Arduino pada Mesin Pengereng Biji Kakao [Skripsi]. Universitas Jember. 2018.
- [15] Khanvilkar, S., Bashir, F., Schonfeld, D., & Khokhar, A. Multimedia Networks and Communication. In *The Electrical Engineering Handbook* (pp. 401–425). Elsevier. 2004.
- [16] Petäjälä, J., Mikhaylov, K., Hämäläinen, M., & Linatti, J. (2015). On the Coverage of LPWANs: Range Evaluation and Channel Attenuation Model for LoRa Technology. 14th International Conference on ITS Telecommunications (ITST) (pp. 55-59). Copenhagen, Denmark: IEEE.
- [17] Ulfah, M., & Djamal, N. Perhitungan Pathloss Teknologi Long Term Evolution (LTE) Berdasarkan Parameter Jarak E Node-B Terhadap Mobile Station di Balikpapan. *JURNAL NASIONAL TEKNIK ELEKTRO*, 5(3), 376–383. 2016
- [18] Zakaria, Y., Hosek, J., & Misurec, J. Path Loss Measurements for Wireless Communication in Urban and Rural Environments. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 8(1), 94–99. 2015.