

ISSN 2302 – 5182



TEKNIK DESAIN MEKANIKA

Jurnal Ilmiah Teknik Mesin

Volume 13 • Nomor 2 • APRIL • 2024 • Hal. 78 - 187

Program Studi Teknik Mesin–Fakultas Teknik
Universitas Udayana



Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Kampus Bukit Jimbaran, Bali 80362
Telp./Fax.: +62 361 703321
<http://www.mesin.unud.ac.id>



JITM-TDM

Volume 13

Nomor 2

Hal. 78-187

Badung, April 2024

ISSN 2302-5182

**TEKNIK DESAIN
MEKANIKA**
Jurnal Ilmiah Teknik Mesin



Volume 13, Nomor 2, April 2024, Hal. 78 – 187

Penanggung Jawab

Koordinator Program Studi Teknik Mesin UNUD

Ketua Dewan Redaksi

Dr. I Made Astika, S.T., M.Erg., M.T.

Redaksi Pelaksana/Tim Validasi

Dr. I Gede Putu Agus Suryawan, S.T., M.T.

Dr. Eng. Made Gatot Karohika S.T, M.T.

Dr. I Made Parwata, S.T., M.T.

Ketut Astawa, S.T., M.T.

I Wayan Arya Darma, ST, MT.

I Gusti Ngurah Putu Tenaya, S.T., M.T.

Dr. Dewa Ngakan Ketut Putra Negara, S.T., M.Sc.

Ir. I Nengah Suarnadwipa, M.T.

I Putu Angga Yuda Pratama, S.T., M.T.

I

Editor Ahli

Dosen-dosen di Program Studi Teknik Mesin
Universitas Udayana

Jurnal Ilmiah Teknik Mesin **TEKNIK DESAIN MEKANIKA** diterbitkan oleh Program Studi Teknik Mesin - Universitas Udayana empat kali dalam setahun pada bulan Januari, April, Juli dan Oktober, berisi artikel hasil penelitian dan kajian teoritis-analitis di bidang Teknik Mesin. Dewan redaksi menerima tulisan yang belum pernah serta tidak sedang dipertimbangkan untuk diterbitkan atau dipublikasikan dalam media lain. Naskah diketik dalam Bahasa Indonesia atau bahasa Inggris dengan mengikuti pedoman yang dapat diunduh di halaman website Teknik Mesin UNUD atau web JITM-TDM.

Alamat Redaksi

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Udayana

Kampus Bukit Jimbaran, Badung, Bali 80362

Telp. / Fax.: 62 361 703321

E-mail: jitm_tdm@me.unud.ac.id; t_desain_mekanika@yahoo.co.id

Info JITM-TDM: www.mesin.unud.ac.id

Kata Pengantar

Puji syukur tercurahkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas terbitnya Jurnal Ilmiah Teknik Mesin – TEKNIK DESAIN MEKANIKA, Universitas Udayana volume 13 Nomor 2, April 2024 ini. Penerbitan jurnal ini bertujuan menyediakan media publikasi untuk hasil-hasil penelitian maupun kajian aplikasi di bidang Teknik Mesin, baik untuk peneliti di kalangan internal maupun eksternal kampus Universitas Udayana, baik dari kalangan mahasiswa maupun dosen.

Dewan redaksi mengucapkan terima kasih atas dukungan dan motivasi dari rekan-rekan di kampus serta pimpinan program studi dalam merealisasikan terbitnya jurnal ini. Dewan redaksi juga menyampaikan terima kasih atas partisipasi rekan-rekan peneliti yang mengirimkan naskahnya untuk dipublikasikan via Jurnal Teknik Mesin Universitas Udayana.

Dalam penerbitan JITM TEKNIK DESAIN MEKANIKA Volume 13 Nomor 2 ini, disajikan 20 artikel, dalam berbagai topik meliputi komposit, material, bahan bakar, sistem bahan bakar, gasifikasi, carbon aktif, dan sistem kontrol.

Akhirnya, Dewan redaksi berharap semoga artikel-artikel dalam jurnal ini bermanfaat bagi pembaca dan memperkuat semangat untuk ikut dalam pengembangan ilmu dan teknologi terutama di bidang Teknik Mesin. Kami tunggu naskah-naskah untuk penerbitan berikutnya.

Dewan Redaksi

TEKNIK DESAIN MEKANIKA

Jurnal Ilmiah Teknik Mesin

Volume 13 • Nomor 2 • April 2024 • Hal. 78 – 187

D a f t a r I s i

Analisis Variasi Radius Deflektor Pada Truck Pick Up Dengan Bak Aerocap Sudut 0° Terhadap Koefisien Hambat Menggunakan CFD Wahyu Saputra, I Made Gatot Karohika, Ainul Ghurri	78 - 82
Analisa Kekuatan Impak Dan Daya Serap Air Biokomposit Serat Kulit Jagung - Bioplastik Sari Pati Kentang Dengan Variasi Massa Serat Okaldo Delaputra, Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati, I Nyoman Suprpta Winaya	83 - 89
Pengaruh Kecepatan Aliran Udara terhadap Dew Point Effectiveness (DPE) Pada Sistem Maisotsenko Cycle Indirect Evaporative Cooling Ventury Dry Rafael BP Silalahi, Hendra Wijaksana dan Ketut Astawa	90 - 94
Pengaruh Kecepatan Aliran Udara terhadap Dew Point Effectiveness (DPE) Pada Sistem Pendinginan Maisotsenko-Indirect Evaporative Cooling Non-Venturi Dengan Aliran Udara Horizontal Counter Flow I Komang Ake Pramagandi, Hendra Wijaksana dan Ketut Astawa	95 - 100
Pengaruh Kecepatan Aliran Udara terhadap Dew Point Effectiveness (DPE) Pada Sistem Maisotsenko Cycle Indirect Evaporative Cooling Ventury dengan Aliran Udara Paralel Alfrede Elia Jhonson Situmeang, Hendra Wijaksana dan Ketut Astawa	101-106
Pengaruh Kecepatan Aliran Udara terhadap Dew Point Effectiveness pada Sistem Pendinginan Maisotsenko-Indirect Evaporative Cooling Non-Venturi dengan Aliran Udara Horizontal Parallel Flow Moch. Nurul Tajri, Hendra Wijaksana dan Ketut Astawa	107-112
Pengaruh Suhu Permukaan Terhadap Kekerasan Kampas Rem Original Equipment Sparepart Jenson Andretti, I Made Widiyarta, I Made Parwata	113-116
Analisis Pengaruh Tekanan Kerja Anoda Terhadap Performa Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) Leo Obed Dwikyra Sibarani, Made Sucipta, I Gede Putu Agus Suryawan	117-120
Kajian Simulasi Computational Fluid Dynamics Pola Aliran Air Pada Turbin Vortex Dengan Variasi Tinggi Basin Muhammad Aufa Aghniya, Made Suarda, I Gusti Ketut Sukadana	121-126
Pengaruh Fraksi Volume Pada Green Composite Serat Bambu Dengan Matriks Sari Pati Kentang Terhadap Penyerapan Suara Dan Porositas Ferdy Gilang Pratama, Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati, Dewa Ngakan Ketut Putra Negara	127-132

Analisa Kemampuan Tekuk Komposit Resin Polyester Berpenguat Berbahan Limbah Kain Konveksi I Ketut Aris Dinata, Ngakan Putu Gede Suardana, Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati	133-137
Pengaruh Fraksi Volume Serat Pada Green Composite Serat Bambu Dengan Matriks Sari Pati Kentang Terhadap Kekuatan Impak Dan Water Absorption Fery Sehat Wiguna Marpaung, Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati, Ketut Astawa	138-142
Konsumsi Energi Konversi Sepeda Motor Listrik Dengan Fixed Belt Transmission Pada Kecepatan 30 km/jam Jay Athar Van Alward, I Made Widiyarta, I Wayan Arya Darma, I Wayan Widhiada, Si Putu Gede Gunawan Tista, I Made Astika	143-147
Kajian Simulasi Computational Fluid Dynamics Pola Aliran Air Dalam Turbin Vortex Pada Variasi Sudut Takik Ishak Danus, Made Suarda, I Gusti Ketut Sukadana	148-154
Pengaruh Variasi Volume Pada Bioplastik Sari Pati Kentang Berpenguat Serbuk Kayu Jati Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro Gede Bagus Santika Wijaya, Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati, Ketut Astawa	155-160
Pengaruh Fraksi Volume pada Green Composite Serat Bambu dengan Matriks Sari Pati Kentang Terhadap Stabilitas Termal Melalui Uji TGA Kimi Obelix Castafiore, Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati, dan Ketut Astawa	161-167
Pengurangan NH_3 Dan H_2S Menggunakan Plat Interceptor Bermedia Minyak Pelumas Pada Berbagai Variasi Aliran Asap Gabriel Cristian CR Sihombing, I Nyoman Suprpta Winaya, I Wayan Arya Darma	168-171
Sistem Kontrol Kendaraan Electric Hybrid Roda Dua Terintegrasi Berbasis Kalman Filter I Nyoman Bima Permana, I Wayan Widhiada, I Made Widiyarta	172-178
Re-Design Sistem Kemudi Kendaraan Bio-Hybrid Obhi-Mec Unud Dengan Menggunakan Single Tie Rod Kevin Daniel Markheshiwan, I Made Gatot Karohika, I Made Widiyarta	179-183
Pengaruh Variasi Temperatur Kerja Reaktor terhadap Volume Minyak Hasil Pirolisis pada Jenis Plastik PP Izhar Adji Arta, I Nengah Suarnadwipa, dan Ketut Astawa	184-187

Analisis Variasi Radius Deflektor Pada Truck Pick Up Dengan Bak Aerocap Sudut 0° Terhadap Koefisien Hambat Menggunakan CFD

Wahyu Saputra, I Made Gatot Karohika, Ainul Ghurri
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit, Jimbaran Bali

Abstrak

Optimalisasi bentuk kendaraan bertujuan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan bahan bakar dengan mengurangi gaya hambat yang diterima, salah satu upaya yang dapat dilakukan dengan biaya yang rendah adalah dengan penambahan komponen *Drag Reduction Device* tipe deflektor yang mampu meningkatkan aerodinamis *Truck Pick Up*. Pengujian dilakukan secara simulasi menggunakan CFD terhadap 2 variasi yaitu *Truck Pick Up* dengan bak *Aerocap* 0° menggunakan Deflektor radius 0°, radius 800 dan radius 1000 yang disimulasikan dengan kecepatan 90 km/jam menggunakan model turbulensi k-omega. *Grid independence test* dilakukan pada penentuan jumlah meshing yang digunakan untuk meminimalisir error dan mengoptimalkan waktu iterasi. Hasil simulasi menunjukkan penggunaan *Drag Reduction Device* tipe Deflektor mampu mengurangi koefisien hambat dan mengurangi penggunaan bahan bakar kendaraan sehingga mobil semakin aerodinamis dan meningkatkan efisiensi penggunaan bahan bakar, dengan penggunaan Deflektor radius 1000 mendapatkan nilai penurunan koefisien hambat tertinggi yaitu 0,72251111 dan menurunkan konsumsi bahan bakar sebesar 6,3% apabila dibandingkan dengan deflektor radius 0.

Kata kunci: Efisiensi, Koefisien Hambat, Koefisien Tekan, Aerodinamika, *Computational Fluid Dynamics*

Abstract

Vehicle shape optimization aims to one of the efforts that can be done at low cost is the addition of deflector-type Drag Reduction Device components that can improve the aerodynamics of Truck Pick Up. Tests were carried out using CFD simulation on 2 variations, namely Truck Pick Up with 0° Aerocap body using 0° radius, 800 radius and 1000 radius deflectors simulated at a speed of 90 km/h using the k-omega turbulence model. Grid independence tests were performed on the determination of the amount of meshing used to minimize errors and optimize iteration time. The simulation results show that the use of Drag Reduction Device type Deflector is able to reduce the drag coefficient and reduce the use of fuel, so that the car is more aerodynamic and increases fuel efficiency. efficiency, with the use of a 1000 radius deflector getting the highest drag coefficient reduction value of 0.72251111 and lowering the fuel consumption coefficient, which is 0.72251111 and reduces fuel consumption by 6.3%, when compared to the deflector radius of 0.000. when compared to the 0 radius deflector.

Keywords: Efficiency, Coefficient Drag, Coefficient Pressure, Aerodynamics, *Computational Fluid Dynamics*

1. Pendahuluan

Perkembangan bidang transportasi di era modern telah memberikan dampak signifikan terhadap mobilitas manusia [7]. Perkembangan ini secara tidak langsung memberikan pengaruh *negative* dengan meningkatkan penggunaan bahan bakar minyak [6]. hal ini menyebabkan kenaikan harga minyak di Indonesia yang sudah terjadi sejak tahun 2009. Kenaikan harga minyak menjadi tantangan serius, dibabkan oleh meningkatnya kebutuhan penggunaan dan menipisnya cadangan minyak yang tersedia [8]. kenaikan harga bahan bakar memberikan dampak ekonomi kepada masyarakat untuk mendorong upaya menghemat konsumsi bahan bakar. Salah satu solusi untuk mengatasi hal tersebut secara optimal adalah dengan optimalisasi aspek aerodinamika untuk meningkatkan efisiensi penggunaan bahan bakar [4].

aerodinamika adalah ilmu yang menganalisis interaksi udara terhadap benda yang bergerak dengan menghasilkan gaya hambat dan gaya angkat. Dalam kasus bidang transportasi gaya hambat menjadi faktor penting dalam mengatasi

meningkatkan efisiensi penggunaan bahan bakar. Gaya hambat sangat dipengaruhi oleh desain aerodinamis kendaraan. Oleh karena itu, peneliti sering menggunakan analisis aerodinamis dengan bantuan *software* CFD untuk mendapatkan hasil yang rinci secara kualitatif dan kuantitatif dengan biaya yang rendah [3]. hal ini didukung oleh Ghurri *et al.* (2023) yang mengatakan bahwa 80% gaya hambat pada sebuah transportasi dipengaruhi oleh geometri benda.

Sebagai contoh, *truck pick up* memiliki gaya hambat lebih tinggi dibandingkan kendaraan penumpang lainnya hal ini dipengaruhi oleh *truck pick up* memiliki luas frontal yang besar. Hal ini lah yang menunjukkan bahwa optimalisasi geometri *truck pick up* untuk mengurangi gaya hambat dan meningkatkan efisiensi penggunaan bahan bakar perlu dilakukan. Menurut penelitian Charles *et al.* (2020) mengatakan bahwa penambahan komponen *drag reduction device* seperti *deflector* mampu mengurangi gaya hambat hingga 30% pada truck. Oleh karena itu, pemanfaatan *deflector* pada truck dapat berpotensi digunakan sebagai *drag reduction device* untuk memecah aliran udara dan

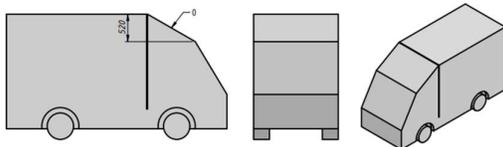
menciptakan pola aliran turbulen yang menunda titik separasi. Hasil serupa didapatkan oleh Pranidhana, 2022 yang mengatakan bahwa penggunaan deflektor sudut 30 mampu menciptakan pola aliran udara yang lebih baik, Oleh karena itu perlu dilakukan analisis lebih lanjut tentang penggunaan *deflektor* dengan menggunakan perangkat lunak simulasi *Ansys Fluent* CFD mengenai penerapan berbagai jenis radius deflektor di bagian rak dalam upaya pengoptimalan penggunaan *deflektor* pada *truck pick up*.

2. Metode Penelitian

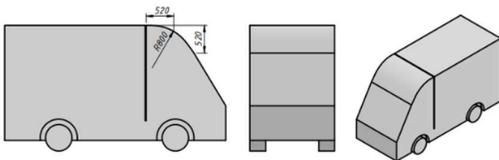
Dalam penelitian ini metode simulasi pada software *Ansys* digunakan untuk memanfaatkan software aplikasi berbasis *Computational Fluid Dynamic* (CFD).

Variabel penelitian yang dipakai adalah:

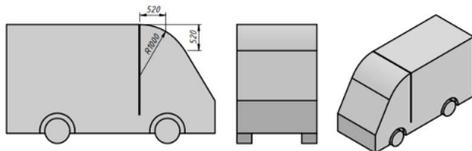
- Variabel Bebas
Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi penggunaan *drag reduction device* tipe *deflektor* pada *truck pick up* dipasang terpal aerocap sudut 0° .



Gambar 1. Model kendaraan *truck pick up* dipasang *deflector* radius 0

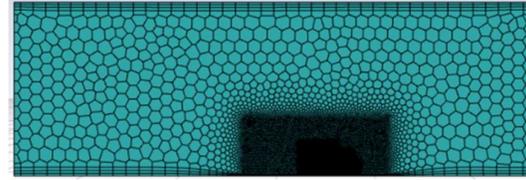


Gambar 2. Model kendaraan *truck pick up* dipasang *deflector* radius 800



Gambar 3. Model kendaraan *truck pick up* dipasang *deflector* radius 1000

- Variabel Terikat
Variabel terikat dalam penelitian ini adalah koefisien gaya hambat dan streamline di sekitar *truck pick up*.
- Variabel Tetap
Variabel terikat dalam penelitian ini sebagai berikut:
 1. Aliran fluida dalam kondisi *steady flow*
 2. temperatur konstan
 3. turbulensi yang digunakan k-epsilon



Gambar 4. *Meshing*

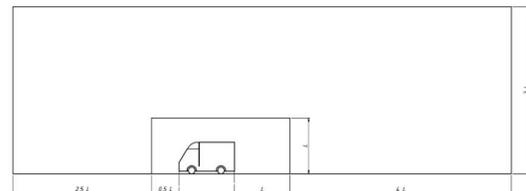
Meshing type yang digunakan pada simulasi ini adalah *polyhexcore* dan Parameter Fluida yang digunakan adalah udara. Adapun sifat-sifat udara yang digunakan adalah sebagai berikut:

Jenis Fluida : Udara
Densitas : 1,224 kg/m³
Viskositas : 1.7894e-05 kg/ms
Velocity : 25 m/s

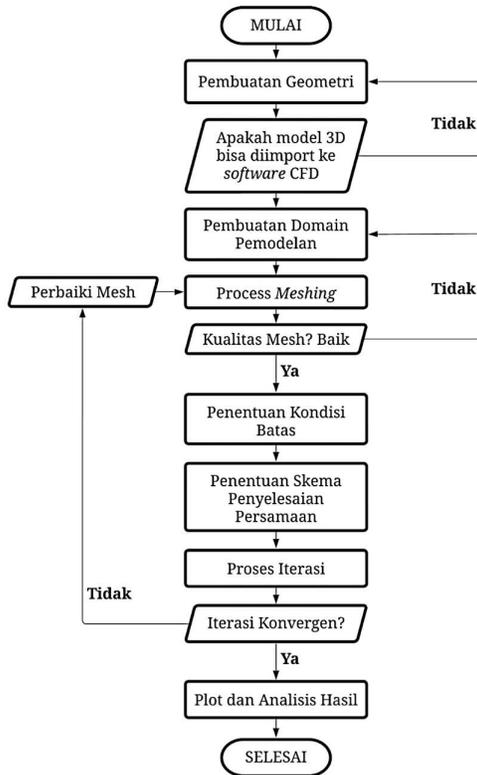


Gambar 5. Peletakkan laju aliran

Menurut Moussa *et al.*, 2015 dimensi domain dapat dibuat sebagai berikut: 3L untuk panjang depan, 5L untuk panjang belakang, dan 3L untuk panjang domain atas, di mana L adalah panjang model. Kotak bagian dalam domain dibuat di area sekitar model untuk mengontrol mesh di sisi area model dan mengamati daerah wake di belakang model.



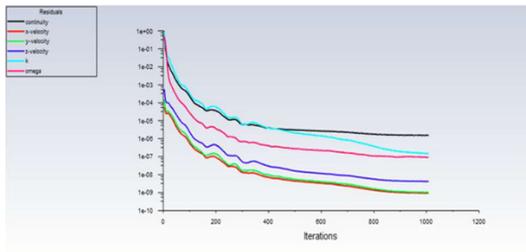
Gambar 6. Domain Kendaraan



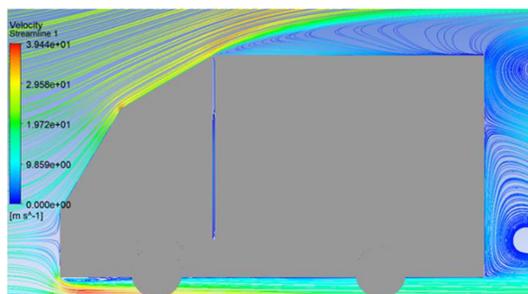
Gambar 7. Flow Chart Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil



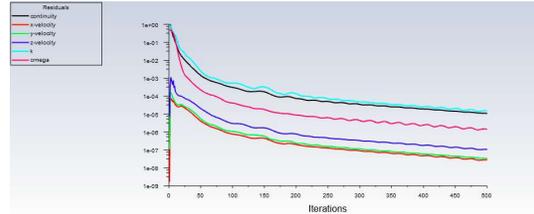
Gambar 8. Grafik Residual *Truck Pick Up* Dipasangi Deflektor Radius 0



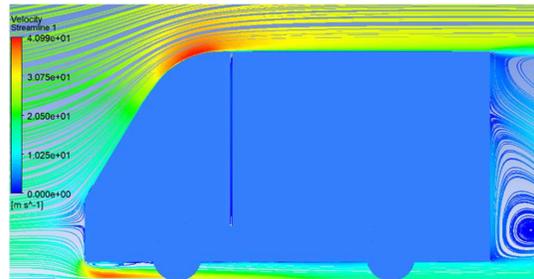
Gambar 9. Pola Aliran Udara *Truck Pick Up* Dipasangi Deflektor Radius 0

Pada *truck pick up* dipasangi deflektor radius 0 menunjukkan grafik residual yang kecil yaitu 10^5 ,

oleh karena itu hasil pengujian memiliki tingkat kesalahan yang kecil atau memiliki tingkat akurasi yang tinggi. Sedangkan pola aliran udara terjadi pada *truck pick up* dipasangi deflektor radius 0 menunjukkan bahwa terjadinya *vortex* pada bagian atas bak *truck pick up*, adanya aliran tersebut pada sebuah kendaraan mampu memberikan gaya hambat yang lebih besar dan meningkatkan penggunaan bahan bakar

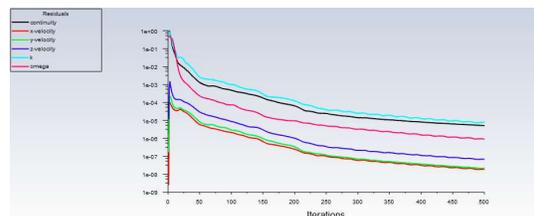


Gambar 10. Grafik Residual *Truck Pick Up* Dipasangi Deflektor Radius 800

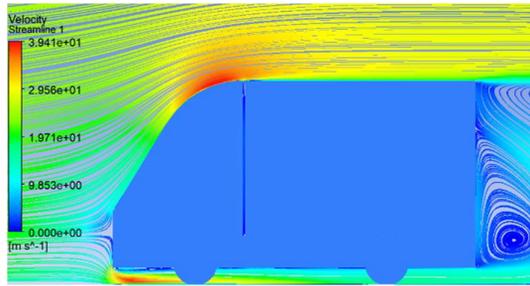


Gambar 11. Pola Aliran Udara *Truck Pick Up* Dipasangi Deflektor Radius 800

Pada *truck pick up* dipasangi deflektor radius 800 menunjukkan grafik residual yang kecil yaitu 10^4 , oleh karena itu hasil pengujian memiliki tingkat kesalahan yang kecil atau memiliki tingkat akurasi yang tinggi. Sedangkan pola aliran udara terjadi pada *truck pick up* dipasangi deflektor radius 800 menunjukkan bahwa pola aliran udara yang terjadi *truck pick up* dipasangi deflektor radius 800 terjadi tanpa ada hambatan yang akan meminimalisir gaya hambat.



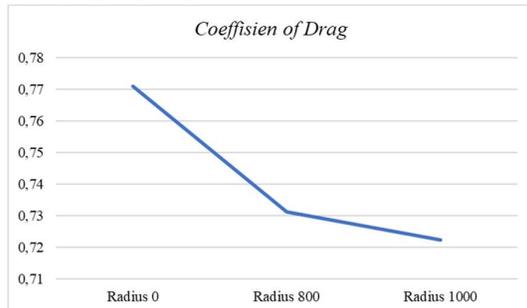
Gambar 12. Grafik Residual *Truck Pick Up* Dipasangi Deflektor Radius 1000



Gambar 12. Pola Aliran Udara Truck Pick Up Dipasangi Deflektor Radius 1000

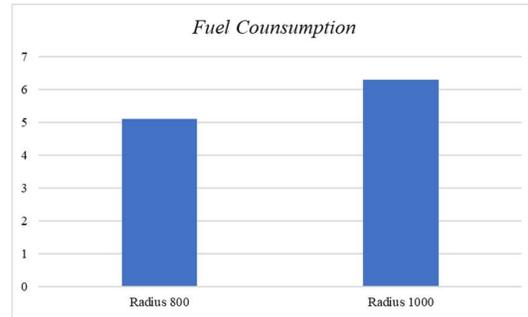
Pada *truck pick up* dipasang *deflektor* radius 1000 menunjukkan grafik residual yang kecil yaitu 10^4 , oleh karena itu hasil pengujian memiliki tingkat kesalahan yang kecil atau memiliki tingkat akurasi yang tinggi. Sedangkan pola aliran udara terjadi pada *truck pick up* dipasang *deflektor* radius 1000 menunjukkan bahwa pola aliran udara yang terjadi *truck pick up* dipasang *deflektor* radius 1000 terjadi tanpa ada hambatan yang akan meminimalisir gaya hambat.

3.2. Pembahasan



Gambar 13. Grafik Koefisien Hambat

Dari gambar 13 dapat dilihat bahwa nilai C_d yang paling besar didapatkan oleh *truck pick up* yang dipasang *deflektor* radius 0, sedangkan nilai C_d yang paling kecil didapatkan oleh *truck pick up* yang dipasang *deflektor* radius 1000. Berdasarkan data tersebut bisa dikatakan bahwa semakin besar radius yang dimiliki pada *deflektor* yang dipasang pada *truck pick up* maka gaya hambat yang diterima semakin kecil dan semakin kecil radius yang dimiliki pada *deflektor* maka gaya hambat yang diterima semakin besar, hal ini disebabkan oleh pola aliran udara yang terjadi pada *truck pick up* yang memiliki gangguan aliran udara. Sebagai contoh pada gambar 8 yang menunjukkan bahwa terjadi *vortex* pada bagian atas bak *truck pick up* yang akan menyebabkan gaya hambat yang diterima semakin besar



Gambar 14. Grafik Penggunaan Bahan Bakar

Gaya hambat yang dimiliki pada sebuah kendaraan akan mempengaruhi konsumsi penggunaan bahan bakar. Dalam kasus ini dapat diketahui berdasarkan nilai koefisien hambat yang didapatkan pada gambar 13 sehingga akan dilakukan perhitungan konsumsi bahan bakar yang dimiliki pada *truck pick up* yang dipasang *deflektor* dengan variasi radius. Hasil konsumsi penggunaan bahan bakar yang dibandingkan dengan *Truck Pick Up* dipasang *Deflektor* Radius 0 yang disajikan pada gambar 14 yang menunjukkan hasil penurunan tertinggi penggunaan bahan bakar terjadi pada *truck pick up* yang dipasang *deflektor* radius 1000 dengan nilai 6,3 %. Hal ini membuktikan bahwa semakin besar radius *deflektor* yang digunakan pada *truck pick up* akan menyebabkan semakin iritnya penggunaan bahan bakar

4. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, kesimpulan yang didapat adalah penggunaan *deflektor* dengan radius yang semakin besar pada *truck pick up* akan menyebabkan konsumsi penggunaan bahan bakar yang semakin irit.

Daftar Pustaka

- [1] Charles, Terrance, Z. Yang, dan Y. Lu. (2020). "Assessment Of Drag Reduction Devices Mounted On A Simplified Tractor-Trailer Truck Model." *Journal Of Applied And Computational Mechanics*
- [2] Ghurri, A., M. Alim, MNP. Adi, SGB. Putra, ME. Mantik, S. Suharto, dan R. Anderson. (2023). "Cfd Simulation Of Aerodynamics Truck Using Cylinder As Drag Reduction Device" *Journal Of Advanced Research In Fluid Mechanics And Thermal Sciences* Vol. 105 No. 2
- [3] Ilmi, Syamsuri, Z. Lillahulhaq, dan M. Yusron. (2020). "Simulation Of Fluid Flow Through Sedan Car Yrs 4 Doors With Speed Variation Using Cfd." *Jurnal Rekayasa Mesin* 11, No. 3: 395-400.
- [4] J. Ha, S. Jeong dan S. Obayashi (2011). "Drag Reduction Of A Pickup Truck By A Rear

- Downward Flap". *International Journal Of Automotive Technology*, Vol. 12, No. 3
- [5] Moussa, A., Abdellah, J. Fischer, dan R.Yadav. (2015). "Aerodynamic Drag Reduction For A Generic Truck Using Geometrically Optimized Rear Cabin Bumps." *Journal Of Engineering*.
- [6] Ramdhaniah, H., Sari, dan I. Farida. (2021). "Application Of Green Chemistry Oriented Alternative Fuel E-Module." Seminar Nasional Tadris Kimiya .
- [7] Wira, K. (2021). Kajian Eksperimental Variasi Kelengkungan Roof Pada Mobil Model Terhadap Pola Aliran Dan Distribusi Tekanan Statis. Skripsi. Jimbaran: Universitas Udayana.
- [8] Yumna, ZS., dan FU. Najicha. (2022). "Kebijakan Pemerintah Dalam Menaikkan Harga Bahan Bakar Minyak Serta Dampaknya Bagi Masyarakat." *Jurnal Syntax Fusion*, Vol. 2 No. 06.

	<p>Wahyu Saputra Mahasiswa aktif program sarjana di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana angkatan 2020.</p>
<p>Judul penelitian Analisis Variasi Radius <i>Deflektor</i> Pada <i>Truck Pick Up</i> Dengan Bak <i>Aerocap</i> Sudut 0° Terhadap Koefisien Hambat Menggunakan CFD</p>	

ANALISA KEKUATAN IMPAK DAN DAYA SERAP AIR BIOKOMPOSIT SERAT KULIT JAGUNG - BIOPLASTIK SARI PATI KENTANG DENGAN VARIASI MASSA SERAT

Okaldo Delaputra, Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati, I Nyoman Suprpta
Winaya

Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Tingkat pencemaran sampah plastik sudah semakin tinggi sehingga perlu mencari solusi untuk masalah ini, salah satunya dengan mengembangkan material bioplastik. Bioplastik adalah plastik yang dapat digunakan layaknya plastik pada umumnya, namun mudah terurai. Penggunaan bioplastik yang ditambahkan dengan serat alami dapat meningkatkan karakteristik material. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan impak dan daya serap air biokomposit serat kulit jagung dengan perbandingan matriks sari pati kentang dengan serat kulit jagung yaitu 99% : 1%; 97% : 3%; dan 95% : 5% sesuai pada ASTM D6110 untuk kekuatan impak dan ASTM D570-98 untuk daya serap air. Hasil dari pengujian impak dengan massa serat 3% menunjukkan kekuatan impak yang paling optimal yaitu sebesar 0,01285 J/mm². Hal ini dikarenakan serat terdistribusi dengan baik dan merata pada matriks, sehingga menyebabkan ikatan matriks dan serat semakin kuat dan mampu menyerap energi yang lebih besar yang berarti kemampuan menerima kekuatan impak semakin tinggi. Pengujian daya serap air biokomposit serat kulit jagung bersifat hidrofolik atau sifat yang menyukai air, dibuktikan dengan tingginya kemampuan dalam menyerap air mencapai nilai di atas 80%.

Kata kunci : *Biokomposit, Serat Kulit Jagung, Sari Pati Kentang, Kekuatan Impak, Daya Serap Air, Variasi massa serat, Bioplastik*

Abstract

The level of plastic waste pollution has been getting higher so it is necessary to find solutions to this problem, one of which is by developing bioplastic materials. Bioplastics are plastics that can be used like plastic in general, but are easily biodegradable. The use of bioplastics added with natural fibers can improve the characteristics of the material. This study was conducted to determine the impact strength and water absorption of corn husk fibers biocomposites with a ratio of potato starch essence matrix with corn husk fiber, which is 99%: 1%; 97% : 3%; and 95%: 5% compliant with ASTM D6110 for impact strength and ASTM D570-98 for water absorption. The results of the impact test with a fibers mass of 3% showed the most optimal impact strength of 0.01285 J/mm². This is because the fibers are well distributed and evenly distributed on the matrix, this causes the matrix and fibers bonds to be stronger and able to absorb greater energy, which means the ability to receive higher impact strength. Testing the water absorption of corn husk fibers biocomposites is hydrofolic or water-loving properties, evidenced by the high ability to absorb water reaching values above 80%.

Keywords : *Biocomposite, Corn Husk Fibers, Potato Starch Extract, Impact Strength, Water Absorption, fibers mass variation, Bioplastic*

1. Pendahuluan

Plastik mempunyai peran penting dalam hampir setiap aspek kehidupan manusia, khususnya dalam bidang pengemasan karena mempunyai keunggulan yaitu ringan, tahan lama, transparan, dan terjangkau bagi seluruh lapisan masyarakat. Namun penggunaannya telah berkembang selama bertahun-tahun menjadi penggunaan yang berlebihan sehingga berdampak negatif pada masyarakat. Plastik yang umum digunakan pada masa kini merupakan suatu varian bahan polimer sintetik dengan sifat senyawa dan struktur yang tidak dapat dikenali oleh

mikroorganisme, baik yang terdapat di dalam tanah maupun di dalam perairan. Plastik yang tidak terurai menyebabkan sampah plastik mejadi menumpuk, penumpukan ini diperparah dengan buruknya pengelolaan sampah dan kebiasaan membuang sampah sembarangan dan membiarkannya berserakan di alam atau di tempat pembuangan sampah ilegal sehingga pada akhirnya mencemari lahan.

Penggunaan plastik di Indonesia pada tahun 2015 mencapai 4,7 juta ton [1]. Jumlah plastik yang tidak dapat terurai dan tidak terbarukan begitu besar, sehingga dapat menimbulkan masalah lingkungan

yang serius [2] Untuk mengurangi pencemaran lingkungan dari penggunaan plastik yang berlebihan, maka dilakukan penelitian terhadap pembuatan material bioplastik.

Banyak upaya penelitian yang telah dilakukan guna mengembangkan bioplastik atau plastik yang dapat terurai secara alami dari beberapa polimer alami, seperti protein, pati, dan bakteri. Pemanfaatan pati sebagai komponen utama dalam produksi bioplastik menunjukkan potensi yang signifikan, terutama di Indonesia, di mana berbagai jenis tanaman pati dapat ditemukan. Dalam konteks penelitian ini, pati yang berasal dari kentang dipilih sebagai bahan utama untuk pembuatan bioplastik. Menurut Pontus Tornqvist (2018), bioplastik yang terbuat dari pati kentang dapat terurai menjadi unsur hara bagi tanah dalam waktu hanya dua bulan, dan juga dapat digunakan dalam pembuatan peralatan makan, sedotan, serta bungkus makanan.

Bikomposit yang diperkuat serat akan meningkatkan karakteristik material dari biokomposit tersebut dan pengaplikasiannya ke berbagai bidang seperti produk otomotif dan pengemasan. Biokomposit yang diperkuat serat alami merupakan area penelitian yang menarik karena serat alami ramah lingkungan, berkelanjutan, biaya rendah, densitas rendah, dengan sifat mekanik yang dapat diterima, kemudahan pemisahan, dan biodegradabilitas. Serat alam juga banyak yang tersedia di alam misalnya serat kelapa, serat jerami, serat jelatang, serat kulit jagung, dan lain-lain. Serat alam yang dipertimbangkan adalah serat kulit jagung. Selulosa jagung mengandung pati 70-80% [3]. Kandungan serat selulosa yang tinggi tersebut dapat dimanfaatkan untuk pembuatan bioplastik.

Batasan masalah ditujukan untuk menghindari adanya perluasan ruang lingkup pokok permasalahan, oleh karena itu batasan masalah dalam penelitian ini ditentukan sebagai berikut:

1. Bahan penguat komposit adalah serat kulit jagung.
2. Larutan yang tercampur tidak akan 100% sama dikarenakan ada cuka dan aquades atau air suling yang tidak mengendap.
3. Temperatur dan tekanan diasumsikan homogen.

2. Landasan Teori

2.1 Bioplastik

Bioplastik merupakan jenis polimer yang memiliki sifat mirip dengan plastik konvensional, namun memiliki kemampuan untuk mengalami degradasi oleh mikroorganisme setelah dibuang ke dalam lingkungan, menghasilkan produk akhir berupa air dan karbon dioksida. [4] Bahan yang digunakan dalam produksi bioplastik melibatkan senyawa-senyawa yang ditemukan dalam organisme tumbuhan dan hewan, termasuk pati, kasein, kolagen, selulosa,

protein, dan kitosan. Polisakarida yang berasal dari hasil pertanian hadir dalam berbagai bentuk, termasuk pati dan glukomanan. [5].

2.2 Kentang

Kentang merupakan tanaman sayuran yang memiliki nilai tinggi dengan berbagai kegunaan, baik sebagai sumber makanan segar maupun dalam bentuk olahan. Setelah dipanen, kentang dapat dimanfaatkan untuk berbagai tujuan. Sekitar 50% dari total penggunaan kentang di seluruh dunia adalah untuk konsumsi segar, sementara sisanya digunakan dalam produksi olahan produk kentang, bahan pakanan, pakan ternak, dan sebagai bibit untuk pertanaman selanjutnya. [6].

Kentang memiliki kandungan pati sekitar 22%-28%, kentang menunjukkan kadar amilosa sekitar 21,04%, sementara kadar amilopektin berkisar antara 78,96%. [7]

2.3 Hardener

Hardener yang digunakan dalam penelitian ini adalah hardener MEKPO atau Metil Etil Keton Peroksida, berfungsi dapat meningkatkan laju reaksi kimia tanpa ikut bereaksi. Fungsi hardener ini adalah untuk mempercepat proses pengeringan pada matriks suatu komposit. Penggunaan hardener sebaiknya disesuaikan dengan kebutuhan. [8].

2.4 Biokomposit

Biokomposit merupakan suatu substansi yang terbentuk dari matriks (resin) dan penguat serat alami, yang umumnya bersumber dari tumbuhan atau selulosa [9]. Aplikasinya meliputi berbagai bidang, mulai dari komposit ramah lingkungan yang dapat mengalami degradasi biologis, hingga komposit biomedis yang digunakan untuk pengiriman obat/gen, aplikasi rekayasa jaringan, dan keperluan otomotif.

2.5 Penguat (Serat)

Penguat merupakan salah satu komponen utama dalam suatu komposit yang memiliki peran krusial dalam menahan beban yang diterima oleh bahan komposit. Oleh karena itu, tingkat kekuatan dari suatu komposit sangat bergantung pada jenis penguat yang digunakan. Penguat umumnya memiliki sifat kaku dan tangguh, dan berbagai jenis penguat yang lazim digunakan meliputi partikel, serat alam, serat karbon, serat gelas, dan material keramik. Dengan penambahan serat, sifat mekanik dari material komposit dapat ditingkatkan, memberikan performa yang lebih baik jika dibandingkan dengan material komposit tanpa penambahan serat. [10].

2.6 Serat Kulit Jagung

Tanaman jagung, yang tumbuh meluas di seluruh daratan Indonesia, dikenal secara luas oleh masyarakat setempat. Limbah dari tanaman jagung, seperti kulit jagung atau klobot, menjadi sumber daya yang dimanfaatkan oleh masyarakat Indonesia untuk berbagai keperluan, termasuk sebagai pembungkus

makanan tradisional, pakan ternak, bahan keset, dan bahan untuk kerajinan tangan.

Di Amerika, serat dari kulit jagung dapat dimanfaatkan dengan pendekatan inovatif, terutama sebagai bahan serat kain berkualitas tinggi. Kulit jagung terbukti memiliki kekuatan yang tinggi dalam arah serat memanjang, ketahanan terhadap gesekan, ketidakberbauan, ketahanan terhadap kontaminasi bakteri, dan daya serap air yang relatif rendah. [11]

Serat kulit jagung mengandung 7,5% lignin, 50–55% selulosa, 1,16% *ash*, dan 39,39% hemiselulosa [12].

2.7 Uji Impak

Pengujian impact merupakan uji yang dilakukan terhadap sebuah material guna menilai ketangguhan bahan terhadap beban tiba-tiba atau tekanan impact. Uji ini menjadi salah satu pendekatan yang digunakan untuk mengukur kapasitas suatu material dalam menyerap energi impact hingga mencapai titik deformasi plastis atau patah.

Terdapat dua metode umum dalam pengujian impact adalah metode Charpy, di mana benda uji ditempatkan secara horizontal dan diberi beban, serta metode Izod, di mana benda uji ditempatkan secara vertikal. Dalam penelitian ini, uji impact dilakukan menggunakan metode Charpy. Perhitungan dalam pengujian ini mengacu pada persamaan yang terdapat dalam standar pengujian ASTM D 6110.



Gambar 1. Uji Impak

Rumus untuk menghitung energi yang diserap adalah sebagai Berikut :

$$E_0 = W \cdot h_0$$

$$= mg(L + L \sin(\alpha - 90^\circ))$$

$$E_1 = W \cdot h_1$$

$$= mg(L + L \sin(\beta - 90^\circ))$$

$$\text{Maka, } I_s = \frac{\Delta E}{A} = \frac{E_0 - E_1}{A}$$

Keterangan :

- ΔE = Energi yang terserap (*Joule*)
 W = Berat pendulum (*N*)
 $\cos \alpha$ = Sudut awal posisi pendulum ($^\circ$)

- $\cos \beta$ = Sudut akhir pendulum ($^\circ$)
 h_0 = Tinggi pendulum sebelum dilepas (*m*)
 h_1 = Tinggi pendulum sesudah dilepas (*m*)
 l = Panjang lengan pendulum (*m*)

Untuk mengetahui kekuatan impact pada benda uji tersebut dapat menggunakan rumus berikut :

$$I_s = \frac{\Delta E}{A}$$

Keterangan :

- I_s = Kekuatan impact (*Joule/mm²*)
 ΔE = Energi yang terserap (*Joule*)
 A = Luas penampang (*mm²*)

2.8 Uji Daya Serap Air

Kemampuan daya serap air merujuk pada kapabilitas partikel bahan pangan untuk menyerap air. Parameter daya serap air atau kapasitas penyerapan air digunakan untuk mengevaluasi kemampuan matriks dalam menyerap air.

Dimensi dari benda uji yang digunakan dalam eksperimen ini sesuai dengan standar ASTM D570-98, seperti yang terlihat pada ilustrasi di bawah ini. :

$$W_{abs} = \frac{W - W_0}{W_0} \times 100\%$$

$$W_{abs} = \text{daya serap air (\%)}$$

W_0 = berat kering dari benda uji sebelum direndam air (*gram*)

W = berat basah dari benda uji setelah direndam air (*gram*)

3. Metode Penelitian

3.1 Proses Pembuatan Benda Uji

Berikut merupakan tahapan proses pembuatan benda uji biokomposit serat kulit jagung – bioplastik sari pati kentang

3.1.1 Proses Pembuatan Matriks Bioplastik Pati Kentang

1. Mengupas kulit kentang yang akan dilakukan penelitian menggunakan pengupas buah/sayur dan kemudian potong kentang yang telah dikupas menggunakan pisau hingga menjadi potongan kecil-kecil dan siap untuk di *blender*.
2. Kentang yang telah dipotong kemudian dimasukkan kedalam *blender* hingga menjadi halus.
3. Kentang yang sudah halus kemudian dimasukkan kedalam gelas *beaker*, lalu dalam gelas beaker ditambahkan sedikit air dan diaduk untuk mempermudah proses penyaringan.
4. Kemudian saring kentang yang telah di *blender* kedalam wadah untuk mencari filtratnya. Filtrat merah yang dihasilkan merupakan campuran air, pati dan beberapa senyawa organik lainnya.

5. Filtrat kemudian dipindahkan kedalam gelas beaker 500 ml dan dibiarkan beberapa saat hingga pati mengendap.
6. Setelah pati mengendap, cairan yang tersisa dibuang sehingga pati yang dihasilkan dapat digunakan.
7. Kemudian masukkan 70 mL aquades ke dalam gelas *beaker*
8. Terakhir masukkan 0,1 gram gliserin dan 0,3 gram hardener
9. Campuran yang terbentuk kemudian diaduk dan mulai dipanaskan, setelah beberapa saat cairan yang awalnya cair berubah menjadi gel

3.1.2 Proses Pembuatan Biokomposit

1. Pencarian Kulit Jagung.



Gambar 2. Gambar Kulit Jagung

2. Kulit jagung kemudian dikeringkan selama 3 hari.
3. Merendam kulit jagung menggunakan aquades selama 3 hari atau lebih agar memudahkan untuk mendapatkan seratnya.
4. Kemudian menyisir kulit jagung berulang kali hingga mendapatkan seratnya.
5. Kemudian serat kulit jagung direndam untuk menghilangkan kotoran yang tersisa pada serat



Gambar 3. Perendaman Serat Kulit Jagung

6. Potong serat kulit jagung menjadi ± 1 cm.



Gambar 4. Serat Kulit Jagung ± 1 cm

7. Campurkan serat kulit jagung dengan matriks yang telah menjadi gel kedalam cetakan dengan menggunakan metode *hand lay-up*. dengan perbandingan variasi matriks sari pati

kentang dengan serat kulit jagung yaitu (99% : 1%, 97% : 3 %, 95% : 5%).

Tabel 1. Jumlah Komposisi Matriks dan Serat Dari Cetakan

Perbandingan Variasi Matriks Dengan Massa Serat (%)	Jumlah Matriks (gram)	Jumlah Serat (gram)
99 : 1	79,2	0,8
97 : 3	77,6	2,4
95 : 5	76	4

8. Setelah tercampur tutup cetakan dengan cetakan akrilik lainnya dan berikan sedikit tekanan agar benda uji terbentuk secara merata pada cetakan dengan sempurna.



Gambar 5. Benda uji Dalam Cetakan

9. Biarkan benda uji didalam cetakan dan mengenai sedikit sinar matahari hingga 10 hari
10. Menimbang benda uji setiap 2 atau 3 hari untuk melihat massa benda uji apakah sudah tidak berkurang lagi massanya. Apabila sudah tidak berkurang maka benda uji sudah kering.
11. Setelah benda uji kering, lepaskan komposit dari cetakan.
12. Potong benda uji sesuai bentuk ASTM yang telah ditentukan.



Gambar 6. Benda Uji Impak



Gambar 7. Benda Uji Daya Serap Air

13. Benda uji siap diuji

4. Hasil dan Pembahasan

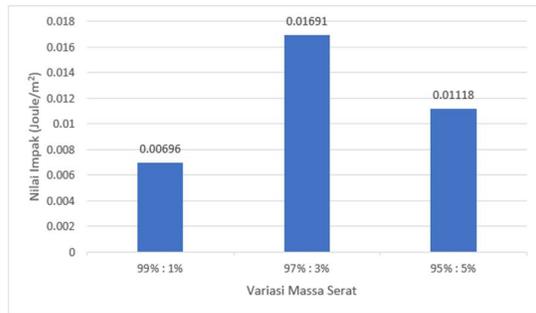
4.1 Data Hasil Penelitian Uji Impak

Berikut data uji impak benda uji biokomposit serat kulit jagung dalam bentuk tabel seperti yang terlihat pada Tabel 2:

Tabel 2. Tabel Data Penelitian Uji Impak

Pengujian Impak								
Perbandingan Variasi Massa Matriks : Serat (%)	Data Hasil Perhitungan							
	Sampel	α	β	E_0 (J)	E_1 (J)	ΔE (J)	A (mm^2)	I_s (J/mm^2)
99% : 1%	A1	150°	145°	5,36482	5,23006	0,13476	52	0,00259
	A2	150°	140°	5,36482	5,07738	0,28744	42	0,00684
	A3	150°	144°	5,36482	5,20092	0,16389	56	0,00293
Rata-rata								0,00412
97% : 3%	B1	150°	123°	5,36482	4,44084	0,92398	48	0,01925
	B2	150°	128°	5,36482	4,64502	0,71979	48	0,01499
	B3	150°	123°	5,36482	4,44084	0,92398	56	0,01649
Rata-rata								0,01691
95% : 5%	C1	150°	127°	5,36482	4,60522	0,75960	52	0,01461
	C2	150°	132°	5,36482	4,76117	0,60365	56	0,01078
	C3	150°	135°	5,36482	4,90793	0,45689	56	0,00816
Rata-rata								0,01118

Berikut data uji impak benda uji biokomposit serat kulit jagung dalam grafik pada gambar 8 :



Gambar 8. Grafik Data Penelitian Uji Impak

Dari gambar 4.1 diatas menunjukkan hasil kekuatan impak biokomposit dengan perbandingan matriks : serat (99% : 1%) sebesar 0,00412 J/mm^2 , dengan perbandingan matriks : serat (97% : 3%) sebesar 0,01691 J/mm^2 dan perbandingan matriks : serat (95% : 5%) sebesar 0,01118 J/mm^2 . Terlihat bahwa biokomposit serat kulit jagung menunjukkan kekuatan impak tertinggi (optimal) yaitu pada benda uji dengan perbandingan matriks : serat (97% : 3%) dikarenakan Penyebaran serat yang merata dan terdistribusi dengan baik pada matriks meningkatnya kekuatan ikatan antara matriks dan serat menghasilkan peningkatan yang signifikan, sehingga mampu menyerap energi dengan kapasitas yang lebih besar. Hal ini mengindikasikan peningkatan kemampuan dalam menanggung kekuatan dampak secara lebih efektif. Ini konsisten dengan temuan dari penelitian [13] yang menyatakan bahwa peningkatan fraksi volume serat memiliki dampak pada kekuatan impak komposit hingga mencapai batas tertentu. Pada fraksi volume serat yang lebih tinggi, dapat terjadi penurunan kekuatan impak karena ikatan antara matriks dan serat menjadi lebih lemah, menyebabkan serat menjadi menggumpal dan melimpah.

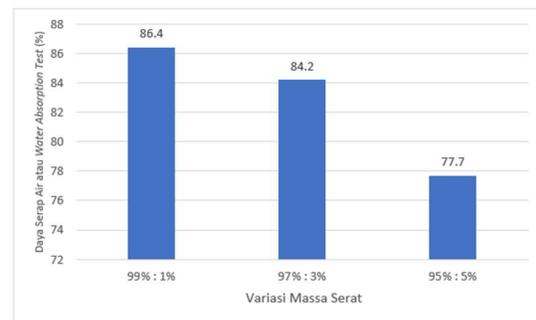
4.2 Hasil Uji Daya Serap Air

Berikut nilai uji daya serap air benda uji biokomposit serat kulit jagung dalam bentuk grafik seperti yang terlihat pada Tabel 3 :

Tabel 3. Tabel Data Penelitian Uji Daya Serap Air

Uji Daya Serap Air				
Perbandingan Variasi Massa Matriks : Serat (%)	Data Hasil Perhitungan			
	Sampel	W (gram)	W_0 (gram)	Wabs (%)
99% : 1%	A1	22,5	11,8	90,67
	A2	21,8	11,8	84,74
	A3	21,9	11,9	84,03
Rata-rata				86,48
97% : 3%	B1	21,2	11,7	81,19
	B2	22,1	11,9	85,71
	B3	22,5	12,1	85,95
Rata-rata				84,28
95% : 5%	C1	22,2	12,4	79,03
	C2	22,8	12,7	79,52
	C3	22,1	11,8	87,28
Rata-rata				81,94

Berikut data uji daya serap air benda uji biokomposit serat kulit jagung dalam grafik pada gambar 9 :



Gambar 9. Grafik Data Daya Serap Air

Berdasarkan dari data grafik pada gambar 4.2, dapat dilihat bahwa karakteristik material biokomposit serat kulit jagung dengan perbandingan matriks : serat (99% : 1%) memiliki rata-rata serap air 86,4%. Perbandingan matriks : serat (97% : 3%) memiliki rata-rata serap air 84,2%. Dan perbandingan matriks : serat (95% : 5%) memiliki rata-rata sebesar 78,7%. Dilihat dari data tersebut menunjukkan bahwa pada benda uji (99% : 1%) memiliki nilai rata-rata serap air tertinggi sedangkan benda uji (95% : 5%) memiliki nilai rata-rata terendah. Hal tersebut membuktikan bahwa semakin banyak matriks maka semakin banyak air yang dapat diserap. Sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh [14] bahwa bioplastik tanpa penambahan serat menunjukkan daya serap air yang lebih tinggi dibandingkan dengan bioplastik yang mengandung serat. Perbedaan ini disebabkan oleh sifat non-larut air dari serat alami atau

selulosa tanaman, yang menyebabkan bioplastik dengan penambahan serat menyerap air dalam proporsi yang lebih rendah. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa biokomposit dengan serat dari kulit jagung tersebut memiliki sifat hidrofilik atau afinitas terhadap air, sebagaimana ditunjukkan oleh kemampuan material ini dalam menyerap air yang mencapai nilai di atas 80%.

5. Penutup

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian biokomposit serat kulit jagung – bioplastik sari pati kentang dengan perbandingan variasi massa serat pada kekuatan dampak dan daya serap air dapat disimpulkan bahwa:

1. Dari pengujian dampak menunjukkan bahwa benda uji dengan perbandingan matriks : serat (97% : 3%) mencapai nilai terbaiknya yaitu sebesar 0,01691 J/mm², yang merupakan nilai tertinggi dibandingkan dengan perbandingan matriks : serat (99% : 1%) dengan nilai kekuatan dampak yaitu sebesar 0,00412 J/mm² dan benda uji dengan perbandingan matriks : serat (95% : 5%) yaitu sebesar 0,01118 J/mm².
2. Pada pengujian daya serap air membuktikan bahwa semakin banyak matriks sari pati kentang akan semakin banyak menyerap air, maka dari itu biokomposit serat kulit jagung – bioplastik sari pati kentang memiliki sifat yang menyukai air atau hidrofolik

5.2 Saran

Saran yang dapat disampaikan oleh peneliti diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan serta menjadi pertimbangan dalam penelitian berikutnya, yang antara lain sebagai berikut:

1. Dalam pelaksanaan penelitian biokomposit serat kulit jagung – bioplastik sari pati kentang berikutnya, diharapkan dapat lebih banyak bereksperimen untuk memvariasikan variabel-variabel dalam pembuatan biokomposit serat kulit jagung – bioplastik sari pati kentang.
2. Penambahan perlakuan pada serat seperti NaOH yang sekiranya dapat meningkatkan kualitas benda uji biokomposit.
3. lakukan uji foto mikro untuk dapat melihat void dan porositas yang terdapat pada benda uji.

Daftar Pustaka

- [1] A. Asngad, E. J. Marudin, and D. S. Cahyo, "Uji Resistensi Isolat Khamir yang Diisolasi dari Limbah Industri di Rungkut," *Jurnal Bioeksperimen*, vol. 6, no. 1, pp. 36–44, 2020, doi: 10.23917/bioeksperimen.v5i1.2795.
- [2] A. M. Díez-Pascual and A. L. Díez-Vicente, "Poly(3-hydroxybutyrate)/ZnO bionanocomposites with improved mechanical, barrier and antibacterial properties," *Int J Mol Sci*, vol. 15, no. 6, pp. 10950–10973, Jun. 2014, doi: 10.3390/ijms150610950.
- [3] D. P. Prasetyawati, "Pemanfaatan Kulit Jagung Dan Tongkol Jagung (*Zea Mays*) Sebagai Bahan Dasar Pembuatan Kertas Seni Dengan Penambahan Natrium Hidroksida (Naoh) Dan Pewarna Alami," SKRIPSI, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta, 2015.
- [4] G. A. Simanjuntak and M. H. Harahap, "Karakterisasi Plastik Biodegradabel Berbahan Dasar Poly Lactid Acid Dan Pati Biji Durian," *Jurnal Einsten Prodi Fisika FMIPA Unimed*, vol. 2, no. 3, 2014.
- [5] I. M. D. Pradipta and L. J. Mawarani, "Pembuatan Dan Karakterisasi Polimer Ramah Lingkungan Berbahan Dasar Glukomanan Umbi Porang," *Jurusan Teknik Fisika FTI - ITS*, pp. 83–89, 2012.
- [6] FAO, "International Year Of The Potato 2008 Food And Agriculture Organization Of The United Nations," 2009.
- [7] A. Niken and D. Adepristian, "Isolasi Amilosa Dan Amilopektin Dari Pati Kentang," *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, vol. 2, no. 3, pp. 57–62, 2013, [Online]. Available: <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jtki>
- [8] M. Najib, "Optimasi Kekuatan Tarik Komposit Serat Rami Polyester," Teknik Mesin, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, 2010.
- [9] S. Agustina, "Biokomposit Serat Kelapa Sawit sebagai Bahan otomotif," *Balai Besar Kimia dan Kemasan, Kementerian Perindustrian RI*, pp. 29–37, 2018.
- [10] E. J. Barbero and M. Shahbazi, "Determination of material properties for ANSYS progressive damage analysis of laminated composites," *Compos Struct*, vol. 176, pp. 768–779, Sep. 2017, doi: 10.1016/j.compstruct.2017.05.074.
- [11] S. N. Huda, "Composites From Chicken Feather And Cornhusk-Preparation And Characterization," 2008.
- [12] N. D. Kambli, K. K. Samanta, S. Basak, S. K. Chattopadhyay, P. G. Patil, and R. R. Deshmukh, "Characterization of the corn husk fibre and improvement in its thermal stability by banana pseudostem sap," *Cellulose*, vol. 25, no.

9, pp. 5241–5257, Sep. 2018, doi:
10.1007/s10570-018-1931-z.

- [13] B. T. Mulyo and H. Yudiono, “Analisis kekuatan impak pada komposit serat daun nanas untuk bahan dasar pembuatan helm SNI,” 2018.
- [14] F. Febriari, “Studi Karakteristik Sifat Mekanik Bioplastik,” Universitas Brawijaya, Malang, 2018.



Okaldo Delaputra menyelesaikan studi S1 di Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana pada tahun 2023.

Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan rekayasa manufaktur khususnya *Biokomposit*.

Pengaruh Kecepatan Aliran Udara terhadap *Dew Point Effectiveness (DPE)* Pada Sistem *Maisotsenko Cycle Indirect Evaporative Cooling Ventury Dry*

Rafael BP Silalahi, Hendra Wijaksana dan Ketut Astawa
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit Jimbaran, Bali

Abstrak

Sebagai negara dengan daerah iklim tropis, Indonesia membutuhkan sistem pendingin udara untuk kehidupan sehari-hari. Penggunaan pendinginan udara konvensional memiliki dampak terhadap lingkungan dan penggunaan energi yang tinggi sehingga diperlukan pendinginan udara alternatif yaitu sistem pendingin udara *Maisotsenko Cycle-Indirect Evaporative Cooling (M-IEC)*. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi kecepatan udara terhadap *Dew Point Effectiveness (DPE)* Pada sistem *Maisotsenko Cycle Indirect Evaporative Cooling Ventury Dry*. Pengujian dilakukan dengan tipe ventury dry channel 5 laluan dan aliran udara horizontal control flow dengan variasi kecepatan aliran udara yaitu 5m/s, 7 m/s, 9m/s. Dari pengujian yang dilakukan didapatkan bahwa *Dew Point Effectiveness* tertinggi terjadi pada kecepatan aliran udara tertinggi yaitu 9m/s dengan nilai DPE sebesar 22,8%.

Kata Kunci: M-Cycle, DPE, Kecepatan aliran Udara, Evaporasi

Abstract

As a country with a tropical climate, Indonesia needs an air conditioning system for daily life. The use of conventional air conditioning has an impact on the environment and high energy use, so alternative air conditioning is needed, namely the *Maisotsenko Cycle-Indirect Evaporative Cooling (M-IEC)* air conditioning system. The main objective of this research is to determine the effect of variations in air speed on *Dew Point Effectiveness (DPE)* in the *Maisotsenko Cycle Indirect Evaporative Cooling Ventury Dry* system. The test was carried out with an 8-pass ventury dry channel type and horizontal flow control air flow with variations in air flow speed, namely 5m/s, 7 m/s, 9m/s. From the tests carried out, it was found that the highest *Dew Point Effectiveness* occurred at the highest air flow speed, namely 9m/s with a DPE value of 22.8%.

Keyword: M-Cycle, DPE, Air Flow Velocity, Evaporative

1. Pendahuluan

Di Indonesia saat ini, kehidupan sehari hari tidak terlepas dari pendingin udara untuk menunjang kenyamanan aktivitas dalam sebuah ruangan. Pendinginan udara dengan metode konvensional dengan sistem kompresi uap dan sistem pendingin absorpsi membutuhkan energi yang tinggi dan memiliki efek buruk pada lingkungan [1]. Untuk mendukung penghematan energi diperlukan teknologi alternatif yang lebih efisien dan lebih ramah terhadap lingkungan seperti menggunakan sistem M-IEC (*Maisotsenko Cycle-Indirect Evaporative Cooling*) [2]. Pendingin *Evaporative* yang umum digunakan adalah pendinginan langsung dan tidak langsung. Sistem pendinginan langsung menambah kelembapan ke udara ruangan dan memiliki efektivitas hingga 0,7-0,95 dalam menurunkan suhu. Pendingin *evaporative* tidak langsung dapat mendinginkan udara tanpa menambahkan uap air ke udara sehingga evaporasi tidak langsung lebih menarik dari evaporasi langsung [3].

Sistem *Maisotsenko* dapat mendinginkan udara tanpa menambah kelembapan. Sistem ini menggunakan siklus *evaporative* yang dapat meningkatkan efisiensi khususnya pada daerah lembab. Sistem *maisotsenko* memiliki kinerja lebih

tinggi dari sistem konvensional karena suhu udara yang masuk sangat dekat dengan suhu titik embun udara (*dew point*) yang masuk [1]. Sistem M-Cycle mengacu pada pengalihan udara dingin ke saluran basah yang digunakan sebagai udara kerja. Dengan menggunakan kondisi saluran masuk dan saluran keluar udara, M-Cycle biasanya diperkirakan dengan *dew point effectiveness* [4].

Pada sistem *Maisotsenko Cycle-Indirect Evaporative Cooling* dengan Counter Flow merujuk pada aliran dua fluida yang bergerak berlawanan di dalam saluran *dry channel* (*ventury* kering) dengan 5 laluan. Pola *counter flow* pada sistem *maisotsenko* akan meningkatkan efisiensi pendinginan. Hal ini terjadi karena perbedaan suhu aliran udara dan air yang lebih besar sehingga perpindahan panas dari udara ke air lebih efektif [5].

Dalam hal ini maka pengujian ini akan mengkaji permasalahan, yaitu bagaimana pengaruh variasi kecepatan udara terhadap *Dew Point Effectiveness (DPE)* Pada sistem *Maisotsenko Cycle Indirect Evaporative Cooling Ventury Dry* dengan menggunakan variasi kecepatan 5m/s, 7 m/s dan 9m/s. Untuk membatasi penelitian akan ditetapkan batasan yaitu penelitian berfokus pada pendinginan Sistem

Maisotsenko Cycle-Indirect Evaporative Cooling dan suhu lingkungan dianggap stabil.

2. Dasar Teori

2.1 Siklus Maisotsenko

Siklus Maisotsenko (M-cycle) merupakan teknik pendinginan udara yang dapat mengurangi suhu aliran udara sampai titik embun yang tidak mungkin terjadi secara langsung. Dalam proses siklus ini pada saluran basah, energi di udara tidak mengalami perubahan dimana udara kering yang hangat akan diubah menjadi udara lembab yang sejuk. Panas di udara digunakan untuk menguapkan air; tidak ada panas yang ditambahkan atau dihilangkan menjadikannya proses adiabatik. Air yang memasuki sistem akan diuapkan pada suhu bola basah dari udara yang masuk, dan ada tidak ada kelebihan air. Oleh karena itu, air memiliki efek yang dapat diabaikan pada proses adiabatik [4].

Siklus Maisotsenko (M-Cycle) menggabungkan pertukaran panas dan pendinginan *evaporatif* dalam proses pendinginan evaporatif tidak langsung yang efektif sehingga suhu aliran produk mendekati suhu titik embun udara masuk. Secara termodinamika, M-Cycle didasarkan pada prapendinginan udara sebelum melewati area penguapan air pembuangan panas, sehingga perbedaan nilai entalpi udara pada suhu titik embunnya dengan udara jenuh yang sama pada suhu yang lebih tinggi digunakan untuk memberikan kapasitas pendinginan untuk membuang panas, misalnya melalui elektronik [6].

2.2 Sistem Pendinginan *Evaporatif*

Pendinginan udara evaporatif merupakan alternatif untuk sistem kompresi uap konvensional yang sudah digunakan sebagai perangkat dengan konsumsi energi rendah untuk berbagai aplikasi pendinginan dan pengkondisian udara di sektor industri, pertanian, perumahan, untuk menyediakan suhu rendah (Pandelidis *et al.*, 2015). Dalam sistem pendingin evaporatif, udara yang dihasilkan tidak bisa lebih dingin dari suhu bola basah udara. Namun, siklus *Maisotsenko* yang digunakan dan dirancang secara inovatif untuk pendingin *evaporatif*, menghasilkan udara yang lebih dingin dari suhu bola basah. Sistem pendinginan evaporatif dapat menurunkan suhu udara proses secara teoritis mendekati suhu bola basahnya. Menurut pembentukannya, sistem pendingin *evaporatif* diklasifikasikan dalam dua kelompok: Sistem pendingin *evaporatif* langsung (DEC) dan sistem pendingin *evaporatif* tidak langsung (IEC) [8]

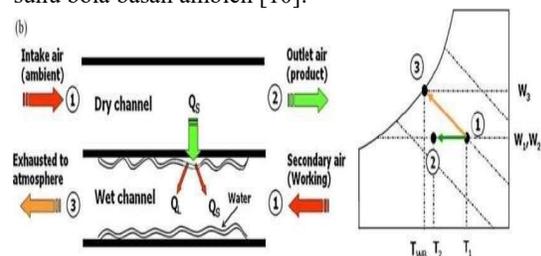
2.3 Indirect Evaporatif Cooling

Indirect Evaporative Cooling adalah alternatif yang baik untuk sistem kompresi uap konvensional untuk memenuhi tantangan ekonomi, lingkungan, dan

peraturan baru. Sistem pendingin pengering canggih melalui *Maisotsenko Cycle* (M-Cycle) yang dibahas di sini berpotensi menghentikan penggunaan refrigeran CFC, mengurangi biaya pengoperasian energi dan permintaan daya puncak, memenuhi standar laju ventilasi baru, dan meningkatkan kualitas udara dalam ruangan [7]

Proses *Indirect Evaporative Cooling* adalah metode pendinginan di manameskipun menggunakan air sebagai cairan pendingin, tidak ada uap air yang ditambahkan ke udara yang didinginkan produk. Aplikasi umum dari pendingin evaporatif tidak langsung adalah pemanasan, ventilasi dan pendinginan di industri bangunan [9]

Sistem *Indirect Evaporative Cooling* menggunakan dua aliran udara ambien dalam prosesnya, yaitu saluran kering untuk udara ambien masuk (1), dan saluran basah udara sekunder (2), dipisahkan oleh polimer film tipis dinding untuk mencegah penetrasi kelembaban di antara mereka. Sepanjang jalur aliran 1-2, udara masuk kehilangan panas sensibel ke sisi basah untuk penguapan air dan udara sekunder didinginkan dengan kontak langsung dengan air sebagai jalur 1-3. Suhu outlet dapat diturunkan secara teoritis mendekati suhu bola basah ambien [10].



Gambar 1. Pendinginan evaporatif tidak langsung [10]

2.4 Laju Aliran dan Udara

Laju aliran air adalah parameter yang sangat signifikan dalam analisis penukar pendinginan evaporatif. Dalam literatur, laju aliran massa air yang sangat rendah diambil untuk konfigurasi aliran berlawanan/paralel, sedangkan laju aliran massa air yang tinggi untuk konfigurasi aliran silang. Efektivitas titik embun perangkat dapat meningkat atau menurun dengan peningkatan laju aliran massa air tergantung pada suhu saluran masuk air [2].

Pada kecepatan saluran masuk udara yang lebih rendah, perbedaan kapasitas pendinginan untuk semua konfigurasi lebih kecil dibandingkan dengan yang sama pada kecepatan yang lebih tinggi. Suhu udara masuk meningkat pada kecepatan yang lebih tinggi tetapi didominasi oleh laju aliran massa yang lebih tinggi dalam hal peningkatan kapasitas pendinginan pendingin evaporatif. Perbedaan dalam kapasitas pendinginan untuk semua konfigurasi berada pada kisaran yang lebih dekat pada kecepatan rendah sementara secara signifikan besar pada kecepatan

udara primer yang lebih tinggi. Dapat dicatat bahwa karena kecepatan air dapat diabaikan dibandingkan dengan kecepatan udara, pengaruh laju aliran udara terhadap kinerja lebih dominan [2]

2.5 Dew Point

Titik embun adalah suhu ketika udara didinginkan dengan uap air agar menjadi jenuh. Apabila didinginkan lebih lanjut, maka uap air di udara akan mengembun sehingga terbentuk embun. Ketika udara mendingin ke titik embunnya melalui kontak dengan permukaan yang lebih dingin daripada udara, maka air akan mengembun di permukaan.

Penurunan suhu bola kering di saluran basah membawa suhu bola basah efektif menjadi idealnya sama dengan suhu titik embun. Oleh karena itu untuk permukaan perpindahan panas yang ideal, udara produk dapat didinginkan dimana masuk ke suhu titik embun udara ambien. Selain itu, udara panas jenuh dibuang dari saluran basah yang sama dengan air yang diuapkan dan kemudian panasnya diperoleh kembali. Tergantung pada sifat aplikasi M-Cycle, produk dan saluran kerja dapat dipertukarkan untuk memanfaatkan udara panas jenuh [4]

Di dalam pori adsorben, molekul-molekul gas berada dalam jarak yang lebih dekat daripada saat berada di luar pori untuk kondisi tekanan dan temperatur yang sama, sehingga bahan bakar gas berubah menjadi *pseudo-liquid* atau hampir jenuh. Melalui cara ini, gas bumi dapat disimpan dengan densitas energi yang lebih tinggi.

M-cycle dapat mencapai suhu di bawah suhu bola basah yang dapat mencapai suhu titik embun. Kinerjanya kemudian dapat dinilai dengan menggunakan efektivitas titik embun (edp). Dibuat dalam persamaan sebagai berikut:

$$edp = \frac{T_{dB.in} - T_{out}}{T_{dB.in} - T_{dp.in}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.1)$$

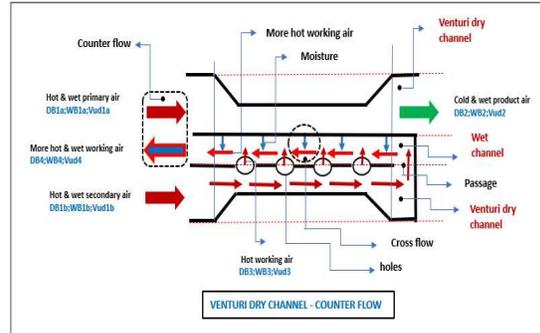
Keterangan:

- edp = dew point effectiveness (%)
- TdB.in = suhu bola kering udara primer inlet (°C)
- TdB.out = suhu bola kering udara primer outlet (°C)
- Tdp.in = suhu dew point udara primer inlet (°C)

3. Metode Penelitian

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan rangkaian alat uji Sistem *Maisotsenko-Indirect Evaporative Cooling* atau M-Cycle 5 laluan udara dengan aliran udara horisontal counterflow antara primary air dari ventury dry channel dengan working air dari wet channel. Dalam melaksanakan penelitian ini besarnya temperature bola basah dan bola kering serta kelembapan udara pada udara primer dan udara sekunder pada sisi masuk *ventury dry channel* diatur sama dan konstan.

Adapun skematik sistem *Maisotsenko-IEC, Ventury dri channel* dan aliran *counter flow* seperti ditunjukkan dalam gambar berikut



Gambar 2 Skematik sistem *Maisotsenko-IEC*, 5 laluan, *Ventury Dry Channel*, aliran *Counter Flow*

Tahapan dalam pengujian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pasang alat Uji sistem *Maisotsenko* pada sistem pengkondisian udara untuk pengaturan temperature kelembapan dan kecepatan aliran udara inlet
2. Pasang titik pengukuran temperature bola kering, dan kecepatan aliran udara pada sisi inlet udara primer (DB1), dan sisi outlet udara produk (DB2)
3. Hidupkan blower dan atur kecepatan udara dengan 5m/s
4. Hidupkan pompa dan atur laju aliran volume konstan
5. Lakukan pengujian sampai sistem stabil dan lanjutkan selama 120 menit dan lakukan pencatatan data
6. Tunggu selama 30 menit hingga temperature kembali ke temperature semula
7. Lakukan langkah 1-6 untuk kecepatan aliran udara 7m/s dan 9m/s

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Pengujian

Pengujian eksperimental pada sistem *Maisotsenko-Indirect Evaporative Cooling*, tipe *ventury dry channel* dengan 5 laluan dan aliran udara *horizontal counter flow* dilakukan masing-masing pada variasi kecepatan aliran udara 5 m/s, 7 m/s dan 9 m/s. Pengukuran temperatur pada pengujian ini dilakukan pada temperatur udara inlet sisi saluran udara primer (TdB1), serta temperatur udara outlet pada sisi saluran udara primer/udara produk (TdB2). Adapun distribusi data temperatur pada variasi kecepatan aliran udara inlet 5 m/s, 7 m/s dan 9 m/s, yang diperoleh ditunjukkan masing-masing secara berurutan pada Tabel 4.1, Tabel 4.2 dan Tabel 4.3.

Tabel 1. Data distribusi temperatur udara pada $V_{Udara} = 5 \text{ m/s}$

Waktu (menit)	Temperatur bola kering (dB), dan titik embun (DPT) °C		
	TdB 1 °C	TdB 2 °C	DPT °C
5	33,8	30,75	20,8
10	34,6	31,75	21,8
15	34,5	31,7	21,5
20	35	31,95	21,8
25	35,1	32,05	21,7
30	35	32,05	21,5
Rata-rata	34,67	31,7	21,52

Tabel 2. Data distribusi temperatur udara pada $V_{Udara} = 7 \text{ m/s}$

Waktu (menit)	Temperatur bola kering (dB), dan titik embun (DPT) °C		
	TdB 1 °C	TdB 2 °C	DPT °C
5	34,7	32,15	21,1
10	35,6	32,65	21,4
15	36	32,5	21,0
20	35,5	32,7	21,3
25	35,8	32,95	21,3
30	36,1	32,7	20,9
Rata-rata	35,61	32,6	21,16

Tabel 3. Data distribusi temperatur udara pada $V_{Udara} = 9 \text{ m/s}$

Waktu (menit)	Temperatur bola kering (dB), dan titik embun (DPT) °C		
	TdB 1 °C	TdB 2 °C	DPT °C
5	35,4	32,25	21,0
10	35,8	32,3	21,1
15	36,3	32,8	21,1
20	35,9	32,5	20,9
25	36	32,4	20,7
30	35,4	32,25	20,5
Rata-rata	35,80	32,41	20,88

4.4 Dew Point Effectiveness (DPE)

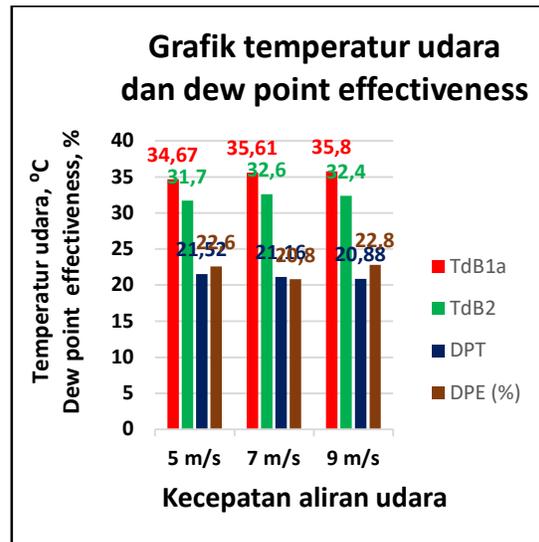
Contoh perhitungan nilai DPE diambil dari variabel dengan kecepatan aliran udara 5m/s dimana dari tabel 4.1 DPT pada kecepatan tersebut = 21,52°C.

$$\varepsilon_{dp} = \frac{T_{dB.in} - T_{dB.out}}{T_{dB.in} - T_{dp.in}} \times 100\%$$

$$\varepsilon_{dp} = \frac{T_{dB1} - T_{dB2}}{T_{dB1} - DPT} \times 100\%$$

$$\varepsilon_{dp} = \frac{34.67 - 31.7}{34.67 - 21.52} \times 100\% = 22.6\%$$

Hasil perhitungan DPE untuk ketiga kecepatan aliran udara dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar 3. Grafik temperature udara dan dew point effectiveness

Dari gambar dapat diketahui bahwa *dew point effectiveness* (DPE) paling tinggi dihasilkan pada kecepatan aliran udara tertinggi 9 m/s, yaitu sebesar 22.8%, sedangkan DPE terendah terjadi pada kecepatan aliran udara 7 m/s yakni sebesar 20.8%. Hasil DPE tinggi pada kecepatan aliran udara 9 m/s terjadi karena udara dengan kecepatan aliran dan temperatur inlet yang lebih tinggi, akan menghasilkan kapasitas panas yang lebih besar pada aliran udara tersebut. Dengan kapasitas panas udara yang lebih besar yang dialirkan, maka akan lebih banyak panas sensibel udara terserap oleh plat penukar panas secara konveksi, sehingga menghasilkan selisih temperatur bola kering (TBK), ΔT_{dB} yang lebih besar dibandingkan kecepatan aliran udara yang lebih rendah, dengan demikian secara proporsional akan

dihasilkan DPE yang lebih tinggi. Pada kecepatan aliran udara 7 m/s, justru dihasilkan DPE yang paling rendah, padahal TBK udara primer inletnya lebih tinggi yakni sebesar 35.61°C dibandingkan TBK udara primer inlet pada kecepatan aliran udara 5 m/s, yang hanya sebesar 34.67°C. Hal tersebut diatas disebabkan oleh selisih antara TBK udara primer inlet (TdB1a) dan *dew point temperature* (DPT) yang terjadi pada kecepatan aliran udara 5 m/s yakni sebesar 34.67-21.52=13.2°C lebih kecil dari yang dimiliki oleh kecepatan aliran udara 7 m/s yakni sebesar 35.61-21.16=14.5°C, sehingga DPE yang dihasilkan pada kecepatan aliran udara 5 m/s menjadi lebih besar dibandingkan DPE kecepatan aliran udara 7 m/s. Dengan demikian untuk sementara dapat dikatakan bahwa DPE sistem pendingin *Maisetsenko* ini, sangat tergantung pada kondisi udara luar yang akan didinginkan, termasuk didalamnya temperatur bola kering, temperatur bola basah dan juga *dew point temperature* udara tersebut, serta juga kecepatan aliran udaranya

5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin tinggi kecepatan aliran udara dengan suhu udara inlet yang lebih besar akan menghasilkan selisih penurunan bola kering semakin besar. *Dew point Effectiveness* tertinggi terjadi pada kecepatan udara paling tinggi yaitu 9m/s dengan nilai 22,8% dan DPE terendah terjadi pada kecepatan aliran udara 7m/s dengan nilai sebesar 20.8%

Daftar Pustaka

- [1]. Song, J., & Sobhani, B., 2020b. **Energy and exergy performance of an integrated desiccant cooling system with photovoltaic/thermal using phase change material and maisotsenko cooler.** Journal of Energy Storage, 32. <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101698>
- [2]. Kashyap, S., Sarkar, J., & Kumar, A., 2020b. **Comparative performance analysis of different novel regenerative evaporative cooling device topologies.** Applied Thermal Engineering, 176. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.115474>
- [3]. Anisimov, S., Pandelidis, D., Jedlikowski, A., & Polushkin, V., 2014a. **Performance investigation of a M (Maisotsenko)-cycle cross-flow heat exchanger used for indirect evaporative cooling.** Energy, 76, 593-606. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.08.055>
- [4]. Mahmood, M. H., Sultan, M., Miyazaki, T., Koyama, S., & Maisotsenko, V. S., 2016a. **Overview of the Maisotsenko cycle – A way towards dew point evaporative cooling.** In **Renewable and Sustainable Energy Reviews** (Vol. 66, pp. 537–555). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.022>
- [5]. Anisimov, S., Pandelidis, D., Jedlikowski, A., & Polushkin, V., 2014b. **Performance investigation of a M (Maisotsenko)-cycle cross-flow heat exchanger used for indirect evaporative cooling.** Energy, 76, 593–606. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.08.055>
- [6]. Maisotsenko, V., & Reyzin, I. (n.d.). **Proceedings of IPACK05 International Electronic Packaging Technical Conference and Exhibition IPACK2005-73283 THE MAISOTSENKO CYCLE FOR ELECTRONICS COOLING**
- [7]. Pandelidis, D., Anisimov, S., & Worek, W. M., 2015. **Performance study of the Maisotsenko Cycle heat exchangers in different air-conditioning applications.** International Journal of Heat and Mass Transfer, 81, 207–221. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2014.10.033>
- [8]. Rogdakis, E. D., Koronaki, I. P., & Tertipis, D. N., 2014. **Experimental and computational evaluation of a Maisotsenko evaporative cooler at Greek climate.** Energy and Buildings, 70, 497–506. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.10.013>
- [9]. Dizaji, H. S., Hu, E., Chen, L., Pourhedayat, S., & Wae-hayee, M., 2021. **Proposing the concept of mini Maisotsenko cycle cooler for electronic cooling purposes; experimental study.** Case Studies in Thermal Engineering, 27. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101325>
- [10]. Riangvilaikul, B., & Kumar, S., 2010. **An experimental study of a novel dew point evaporative cooling system.** Energy and Buildings, 42(5), 637–644. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.10.034>



Pengaruh Kecepatan Aliran Udara terhadap *Dew Point Effectiveness* (DPE) Pada Sistem Pendinginan *Maisotsenko-Indirect Evaporative Cooling Non-Venturi* Dengan Aliran Udara *Horizontal Counter Flow*

I Komang Ake Pramagandi, Hendra Wijaksana dan Ketut Astawa
*Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit Jimbaran
Bali*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kecepatan aliran udara terhadap *Dew Point Effectiveness* (DPE) pada sistem pendinginan *Maisotsenko-Indirect Evaporative Cooling Non-Venturi* dengan aliran udara *horizontal Counter Flow*. *Counter Flow* berarti aliran berlawanan arah, yang berlawanan arah adalah aliran udara kerja dari saluran basah (*wet channel*) dengan aliran udara primer (*produk*), didalam sistem *M-Cycle* ini terdapat 2 saluran kering dan 1 saluran basah (*wet channel*) yaitu saluran primer, sekunder dan saluran basah (*wet channel*). Pasokan udara diarahkan ke saluran kering (*dry channel*) di saluran primer dan sekunder, pada saluran primer udara yang keluar adalah udara produk untuk pendinginan dan pada saluran sekunder udara dialirkan menuju *wet channel* melalui laluan yang ada diantara dinding sekunder dan *wet channel* sehingga udara yang masuk dari saluran sekunder akan masuk ke dalam saluran basah (*wet channel*) dan keluar menjadi udara kerja. Pada pengujian ini variasi kecepatan aliran udara yang digunakan yaitu 5 m/s, 7 m/s, dan 9 m/s dengan waktu pengambilan data selama 30 menit dan dicatat setiap 5 menit. Selanjutnya dari masing-masing kecepatan mencari nilai *dew point effectiveness* (DPE) yang merupakan ukuran kemampuan sistem pendingin untuk mendinginkan udara hingga mendekati temperatur pengembunannya. Setelah dilakukan pengujian, pada kecepatan 5 m/s, 7 m/s dan 9 m/s *dew point effectiveness* diperoleh sebesar 21,5%, 22,9% dan 25%. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa *dew point effectiveness* tertinggi dihasilkan pada kecepatan aliran udara 9 m/s yakni sebesar 25% dan yang terendah pada kecepatan 5 m/s yakni sebesar 21,5%.

Kata Kunci : *M-Cycle, Dew Point, Maisotsenko, Counter Flow, Wet Channel, Dry Channel*

Abstract

This research aims to determine the effect of air flow speed on *Dew Point Effectiveness* (DPE) in the *Maisotsenko-Indirect Evaporative Cooling Non-Venturi* cooling system with *horizontal Counter Flow* air flow. *Counter Flow* means flow in the opposite direction, in the opposite direction is the working air flow from *wet channel* with primary air flow (*product*), in this *M-Cycle* system there are 2 *dry channel* and 1 *wet channel*, namely primary, secondary and *wet channel*. The air supply is directed to the *dry channel* in the primary and secondary channels, in the primary channel the air that comes out is product air for cooling and in the secondary channel the air is channeled to the *wet channel* through the passage between the secondary wall and the *wet channel* so that air enters from The secondary channel will enter the *wet channel* and exit as working air. In this test, variation in air flow speed used were 5 m/s, 7 m/s, 9 m/s with a data collection time of 30 minutes and recorded every 5 minutes. Next, from each speed, look for the *dew point effectiveness* (DPE) value, which is a measure of the cooling system's ability to cool the air to close to its condensation temperature. After testing, at speed of 5 m/s, 7 m/s, 9 m/s the *dew point effectiveness* was obtained at 21,5%, 22,9%, and 25%. Based on these result, it can be concluded that the highest *dew point effectiveness* is produced at an air flow speed of 9 m/s, namely 25% and the lowest at a speed of 5 m/s, namely 21,5%.

Keywords : *M-Cycle, Dew Point, Maisotsenko, Counter Flow, Wet Channel, Dry Channel*

1. Pendahuluan

Di abad ke-21, energi bersih merupakan kebutuhan dasar manusia. Sebagian besar energi yang dikonsumsi di seluruh dunia terhubung ke sektor bangunan dan perumahan [1]. Total energi yang dikonsumsi oleh bangunan di seluruh dunia adalah 30-40%, sekitar 50% dari energi ini digunakan oleh bangunan dengan tujuan

pengkondisian udara. Teknologi pendinginan yang modern secara ekstensif menggunakan siklus kompresi uap dengan konsumsi listrik yang tinggi. Hampir 95% peralatan *air conditioning* menggunakan sistem kompresi uap untuk keperluan pendinginan. Untuk membuat sistem pendinginan udara hemat energi, perlu dikembangkan metode

pendinginan yang efektif, dan salah satu metode tersebut adalah penguapan air[2]. Sistem pendingin *evaporative* mengkonsumsi sekitar seperempat energi listrik dibandingkan dengan sistem pendinginan modern yang menggunakan kompresi uap untuk keperluan pendinginan. Selain itu sistem ini juga berkontribusi dalam mengurangi konsumsi bahan bakar fosil dan gas rumah kaca[3]. Pendinginan *evaporative* menunjukkan potensi besar dalam aplikasi pendinginan yang ramah lingkungan dan efisien karena tidak menggunakan freon. Siklus *Maisotsenko (M-Cycle)* telah diusulkan untuk memungkinkan pendinginan udara menuju suhu titik embunnya (*dew point*) [4]. Sistem ini dikembangkan oleh *Valerij Maisotsenko*, yang dianggap sebagai pengembangan dari teknologi IEC yang terkenal dengan aliran udara sekunder pra-pendinginan sebelum memasuki saluran udara sekunder, M-Cycle terbukti memiliki potensi pendinginan yang tinggi dan batas pendinginan dapat menuju suhu titik embun (*dew point*)[5].

Sistem pendinginan *M-Cycle* non-venturi dengan aliran udara horizontal *counter flow*, dimana *counter flow* adalah aliran yang berlawanan arah, pasokan udara diarahkan ke saluran kering pendingin dan dipisahkan menjadi dua bagian di saluran kering. Sebagian besar dikirim sebagai udara produk untuk pendinginan, dan sisanya digunakan sebagai udara kerja dan dihisap ke saluran basah dengan arah sebaliknya. Udara yang bekerja di saluran basah dapat merangsang penguapan air dan akhirnya dialirkan ke saluran keluar yang terletak di keluaran dari *wet channel* [6].

Tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kecepatan aliran udara terhadap *dew point effectiveness* pada sistem pendinginan *maisotsenko-indirect evaporative cooling non-ventury* dengan aliran udara horizontal *counter flow*. Adapun batasan masalah yang diperlukan dalam penelitian ini untuk mendapatkan hasil yang diinginkan yaitu:

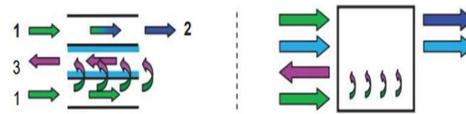
1. Laju aliran air masuk tetap atau konstan
2. Suhu air pendingin pada saluran basah dianggap konstan
3. Setiap kecepatan aliran udara inlet blowe ke outlet dianggap konstan

2. Dasar Teori

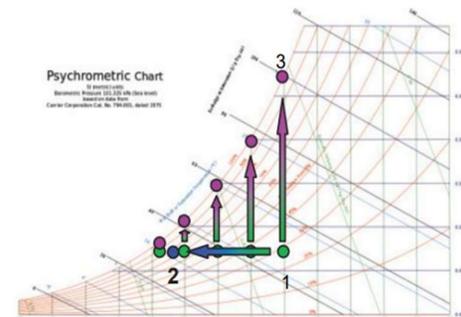
2.1 Siklus *Maisotsenko (M-Cycle)*

Siklus *M-Cycle* dianggap sebagai pengembangan dari teknologi IEC (*indirect evaporative cooling*) yang terkenal dengan aliran udara sekunder pra-pendinginan sebelum

memasuki saluran udara sekunder. Karena suhu aliran udara saluran sekunder yang lebih rendah, *M-Cycle* terbukti memiliki potensi pendinginan yang tinggi dan batas pendinginan dapat diperoleh suhu titik embun udara masuk. Karakteristik utama dari sistem ini adalah bahwa udara sekunder memiliki banyak saluran dari saluran keringnya ke saluran basah,



Gambar 1 Skema prinsip kerja dan aliran yang disederhanakan dari sistem M-IEC (Bogdam Porumb,dkk (2015)



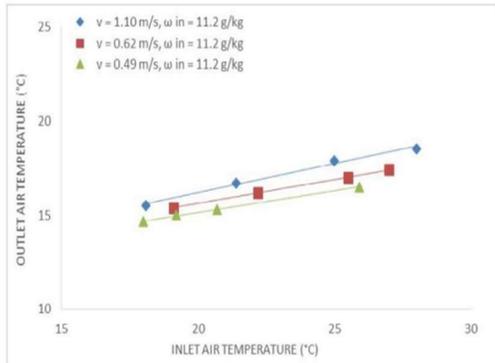
Gambar 2 Proses kerja M-IEC pada grafik psikometri (Bogdam Porumb,dkk (2015)

udara utama hanya mengalir ke saluran kering khusus. Udara primer mengalir di saluran kering khusus dan mentransfer panas melalui permukaan panas ke saluran basah, disalurkan keluar udara primer akan memiliki suhu mendekati suhu *dew point* dari suhu udara masuk di primer. Udara sekunder adalah udara yang sama mengalir disaluran kering khusus, tetapi memiliki beberapa jalur ke saluran basah *wet channel* sehingga di dalam *wet channel* udara akan kontak langsung dengan air dan menjadi udara kerja, dapat dikatakan bahwa di bagian udara sekunder udara akan terus-menerus meningkatkan kelembapannya hingga keluar. Proses kerja udara primer (1-2) diwujudkan pada kelembapan konstan, proses kerja udara sekunder (1-3), pada batasnya suhu *dew point* akhir dari udara primer di saluran keluar dapat mencapai suhu *dew point* udara primer yang masuk[7].

2.2 Pengaruh Kecepatan Udara Masuk

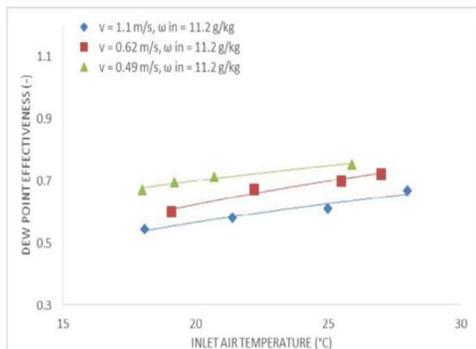
Kecepatan masuk memiliki peran penting dalam kinerja sistem, pada gambar 3 menunjukkan kondisi udara keluar ketika kecepatan udara masuk di variasikan sambil menjaga rasio kelembapan tetap. Rasio

kelembapan udara 11,2 g/kg pada inlet memberikan penurunan suhu udara outlet yang lebih besar jika kecepatan udara inlet diturunkan, karena jika kecepatan inlet yang tinggi, durasi kontak udara dengan sisi basah saluran berkurang.[8]



Gambar 3 Suhu udara keluar untuk kecepatan udara masuk yang berbeda(Umar Khalid,dkk 2015).

Selanjutnya gambar 4 menunjukkan *dew point effectiveness* untuk kecepatan udara yang berbeda sambil menjaga rasio kelembapan tetap sama. Ketika kecepatan meningkat, kedua nilai efektivitas menurun, untuk kecepatan dibawah 0,5 m/s, nilai efektivitas titik embun sebesar 67%[9].



Gambar 4 Dew point effectiveness pada kelembapan konstan dan kecepatan udara masuk yang berbeda (Umar Khalid,dkk 2015).

2.3 DPE (Dew Point Effectiveness)

DPE merupakan ukuran kemampuan sistem pendingin *maisotsenko* untuk mendinginkan udara hingga mendekati temperatur pengembunan-nya (*dew point temperature-DPT*), besarnya DPE dapat ditentukan menggunakan persamaan seperti dibawah:[10].

$$\varepsilon_{dp} = \frac{T_{dB.in} - T_{dB.out}}{T_{dB.in} - T_{dp}} \times 100\%$$

Dimana:

ε_{dp} = Dew point effectiveness (%)

$T_{dB.in}$ = Temperatur bola kering udara primer inlet (°C)

$T_{dB.out}$ = Temperatur bola kering udara primer outlet (°C)

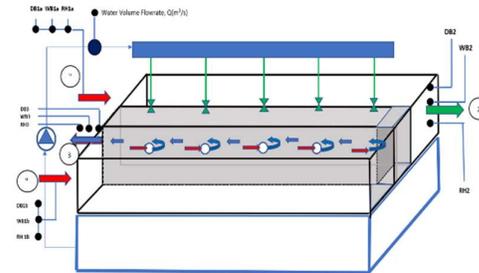
$T_{dp.in}$ = Temperatur *dew point* udara primer inlet (°C)

3. Metode Penelitian

3.1 Alat dan bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. UNI-T UT333 *Thermometer Hygrometer Humidity*
2. Digital *wind anemometer*
3. Pompa pengabut
4. *Nozzel*
5. Dimer
6. *Stopwatch*
7. Plat alumunium dan tembaga
8. Blower keong
9. Gerinda dan bor
10. Alumunium foil



Gambar 5 Prinsip kerja sistem *maisotsenko*

3.2 Rangkaian Alat Uji

DB1a = *Primary air dry bulb temperature inlet*

WB1a = *Primary air wet bulb temperature inlet*

RH1a = *Primary air velocity inlet*

DB1b = *Secondary air dry bulb temperature inlet*

WB1b = *Secondary air wet bulb temperature inlet*

RH1b = *Secondary air velocity inlet*

DB2 = Product air dry bulb temperature outlet

WB2 = Product air wet bulb temperature outlet

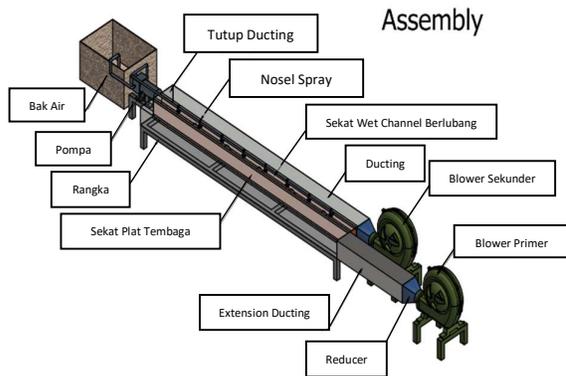
RH2 = Product air velocity outlet

DB4 = Working air dry bulb temperature outlet

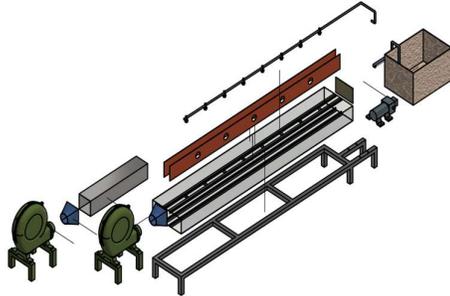
WB4 = Working air wet bulb temperature outlet

RH4 = Working air velocity outlet

Q = Water volume flowrate



Gambar 6 Komponen alat uji



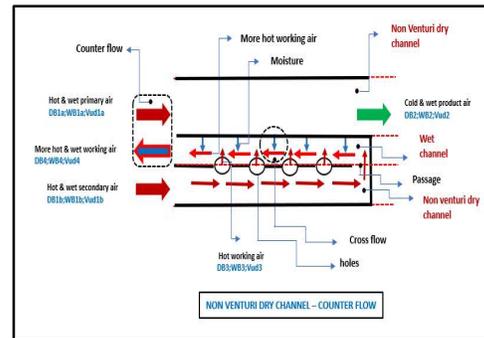
Gambar 7 Alat uji non-venturi counter flow

3.3 Cara Kerja Alat Uji

Udara primer dan sekunder memiliki kecepatan aliran, temperatur inlet dan kelembapan yang sama saat akan memasuki *dry channel*. Udara primer pada *wet channel* yang tanpa laluan udara akan mentransfer panasnya pada dinding *wet channel* secara konveksi dan konduksi, hingga panas tersebut merambat hingga ke dinding dalam *wet channel*. Pada sistem *maisotsenko* ini arah aliran udara kerja akan berlawanan dengan arah aliran udara primer (*counter flow*). Panas sensibel udara primer ini akan diserap oleh kabut air yang disemprotkan melalui *nozzel* dari arah atas aliran udara *wet*

channel secara bersilangan. Udara sekunder pada sisi *dry channel* dengan laluan udara, akan masuk ke dalam *wet channel* melalui saluran udara yang ada dan dikeluarkan sebagai udara kerja. Udara didalam *wet channel*

akan menyerap panas udara primer pada sisi dinding lubang *wet channel* bersama sama dengan kabut air. Proses ini menghasilkan udara produk pada sisi *outlet dry channel* yang berpotensi mencapai suhu dibawah temperatur bola basah inletnya dan juga hampir mendekati temperatur pengembunannya.



Gambar 8 Prinsip kerja sistem *maisotsenko*

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Data Hasil Penelitian

Pengujian eksperimental pada sistem *maisotsenko indirect evaporative cooling*, tipe non-venturi *dry channel* dengan 5 laluan dan aliran udara horizontal *counter flow* dilakukan masing masing pada variasi kecepatan alira udara 5 m/s, 7 m/s, dan 9 m/s. Untuk mendapatkan nilai dari DPE ini maka dilakukan pengukuran temperatur pada pengujian ini dilakukan pada temperatur udara inlet sisi saluran udara primer (T_{db1a}), temperatur outlet pada sisi saluran primer. Saluran masuk udara primer dan sekunder dianggap sama saat awal masuk. Hasil perhitungan DPE untuk ketiga kecepatan aliran udara dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 1 Data distribusi temperatur udara pada kecepatan 5 m/s

Waktu (menit)	Tdb1a (°C)	Tdb 2 (°C)	DPT (°C)
5	31,8	31,8	26,9
10	32,2	31,9	27,2
15	34,5	32,7	27,2
20	34,9	33	27,6
25	35,1	33,1	27,9

30	34,9	33	27,8
Rata-rata	33,9	32,5	27,4

$$\varepsilon_{dp} = \frac{T_{dB.in} - T_{dB.out}}{T_{dB.in} - T_{dp}} \times 100\%$$

$$\varepsilon_{dp} = \frac{T_{dB.1a} - T_{dB.2}}{T_{dB.1a} - T_{dp}} \times 100\%$$

$$\varepsilon_{dp} = \frac{33,9 - 32,5}{33,9 - 27,4} \times 100\% = 21,5\%$$

Tabel 2 Data distribusi temperatur udara pada kecepatan 7 m/s

Waktu (menit)	TdB1a (°C)	TdB 2 (°C)	DPT (°C)
5	35,1	33,1	26,7
10	35,5	33,5	26,5
15	35,9	33,6	25,5
20	36,1	33,4	26,1
25	35,3	33,4	25,7
30	35,7	33,5	25,7
Rata-rata	35,6	33,4	26

$$\varepsilon_{dp} = \frac{T_{dB.in} - T_{dB.out}}{T_{dB.in} - T_{dp}} \times 100\%$$

$$\varepsilon_{dp} = \frac{T_{dB.1a} - T_{dB.2}}{T_{dB.1a} - T_{dp}} \times 100\%$$

$$\varepsilon_{dp} = \frac{35,6 - 33,4}{35,6 - 26} \times 100\% = 22,9\%$$

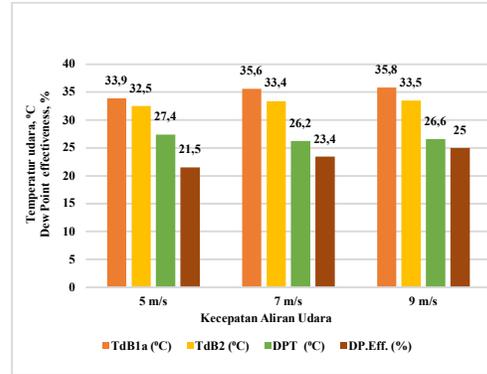
Tabel 3 Data distribusi temperatur udara pada kecepatan 9 m/s

Waktu (menit)	TdB1a (°C)	TdB 2 (°C)	DPT (°C)
5	35,5	33,4	26,8
10	36	33,7	26,5
15	35,8	33,5	26,3
20	35,9	33,6	26,4
25	35,8	33,6	26,5
30	36,1	33,7	27,1
Rata-rata	35,8	33,5	26,6

$$\varepsilon_{dp} = \frac{T_{dB.in} - T_{dB.out}}{T_{dB.in} - T_{dp}} \times 100\%$$

$$\varepsilon_{dp} = \frac{T_{dB.1a} - T_{dB.2}}{T_{dB.1a} - T_{dp}} \times 100\%$$

$$\varepsilon_{dp} = \frac{35,8 - 33,5}{35,8 - 26,6} \times 100\% = 25\%$$



Gambar 9 Grafik temperatur dan dew point effectiveness

Berdasarkan pada tabel distribusi temperatur udara pada kecepatan 5m/s,7ms,9m/s dan gambar 4.1, dapat dilihat bahwa (DPE) tertinggi dihasilkan pada kecepatan aliran udara 9 m/s yakni sebesar 25%, sedangkan DPE terendah terjadi pada kecepatan aliran udara 5 m/s yakni sebesar 21,5%.

5. Kesimpulan

DPE sistem pendingin *Maisotsenko* ini, sangat bergantung pada kondisi udara luar yang akan di dinginkan, termasuk di dalamnya temperatur bola kering, temperatur bola basah dan juga *dew point* temperatur udara tersebut, serta juga kecepatan aliran udaranya. Semakin tinggi kecepatan aliran udara masuk, semakin tinggi juga nilai DEP yang akan didapat.

6. Daftar Pustaka

- [1] Kasyap, S., Sarkar, J. & Kumar, A., 2020, *Comparative performance analysis of different novel regenerative evaporative cooling device topologies*, Applied Thermal Engineering, 176, 115464.
- [2] Lin, J., Thu, K., Karthik, S., Shahzad, M., Wang, R. & Chua, K. J., 2021, *Understanding the transient behavior of the dew point evaporative cooler from the first and second law of thermodynamic*, Energy Conversion and Management, 244, 114471.

- [3] Riangvilaikul, B., & Kumar, S., 2010, *An experimental study of a novel dew point evaporative cooling system*, Energy and Buildings, 42, 637-644.
- [4] Pandelidis, D., Cichon, A., Pacak, A., Drag, P., Drag, M., Worek, W., & Cetin, S., 2020, *Performance study of the cross-flow Maisotsenko cycle in humid climate conditions*, International Communications in Heat and Mass Transfer, 115, 104581.
- [5] Amer, O., Boukhanouf, R., & Ibrahim, H. G., 2015, *A review of evaporative cooling technologies*, International Journal of Environmental Science and Development, 6, 111.
- [6] Dizaji, H. S., Hu, E. J., & Chen, L., 2018, *A comprehensive review of the Maisotsenko-cycle based air conditioning system*, Energy, 156, 725-749.
- [7] Porumb, B., Balan, M., & Porumb, R., 2016, *Potential of indirect evaporative cooling to reduce the energy consumption in fresh air conditioning application*, Energy Procedia, 85,433-441.
- [8] Rogdakis, E. D., Koronaki, I. P., & Tertipis, D. N., 2014, *Experimental and computation evaluation of a Maisotsenko evaporative cooler at Greek climate*, Energy and Buildings, 70, 497-506.
- [9] Shahzad, M. K., Chaudhary, G. Q., Ali, M., Sheikh, N.A., Khalil, M. S., & Rashid, T.U., 2018, *Experimental evaluation of a solid desiccant system integrated with cross flow Maisotsenko cycle evaporative cooler*, Applied Thermal Engineering, 128, 1476-1478.
- [10] Zhan, C., Duan, Z., Zhao, X., Smith, S., Jin, H., & Riffat, S., 2011, *Comparative study of the performance of the M-Cycle counter-flow and cross-flow heat exchangers for indirect evaporative cooling-paving the path toward sustainable cooling of buildings*, Energy, 36, 6790-6805.



Pengaruh Kecepatan Aliran Udara terhadap *Dew Point Effectiveness (DPE)* Pada Sistem *Maisotsenko Cycle Indirect Evaporative Cooling Ventury* dengan Aliran Udara *Parallel*

Alfrede Elia Jhonson Situmeang, Hendra Wijaksana dan Ketut Astawa

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit Jimbaran, Bali

Abstrak

Energi bersih merupakan kebutuhan dasar manusia. Sebagian besar sistem konsumsi dan produksi energi yang ada saat ini tidak efisien dan dapat merusak lingkungan. Pendinginan evaporatif adalah cara alternatif kompresi uap mekanis untuk aplikasi pengkondisian udara. Siklus Maisotsenko (*M-Cycle*) adalah prinsip pendinginan evaporatif dan diakui sebagai pengembangan dari teknologi *IEC (Indirect Evaporative Cooling)* yang terkenal dengan aliran udara sekunder pra-pendinginan sebelum memasuki saluran udara sekunder. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi kecepatan udara terhadap *Dew Point Effectiveness (DPE)*. Pada sistem *Maisotsenko Cycle Indirect Evaporative Cooling Ventury* dengan aliran udara horizontal parallel flow dengan variasi kecepatan aliran udara yaitu 5 m/s, 7 m/s, dan 9 m/s. Dari pengujian yang dilakukan didapatkan bahwa *Dew Point Effectiveness* tertinggi terjadi pada kecepatan aliran udara tertinggi yaitu 5 m/s yakni sebesar 29,8%.

Kata Kunci: *M-Cycle*, *DPE*, Kecepatan aliran udara

Abstract

Clean energy is a basic human need. Most existing energy consumption and production systems are inefficient and can damage the environment. Evaporative cooling is an alternative way of mechanical vapor compression for air conditioning applications. The Maisotsenko Cycle (*M-Cycle*) is the principle of evaporative cooling and is recognized as a development of the well-known *IEC (Indirect Evaporative Cooling)* technology by pre-cooling secondary airflow before entering the secondary air duct. The main objective of this research is to determine the effect of air velocity variation on *Dew Point Effectiveness (DPE)*. In the maisotsenko cycle indirect evaporative cooling ventury system with horizontal parallel flow with air flow velocity variations of 5 m/s, 7 m/s, and 9 m/s. From the tests conducted, it was found that the highest *Dew Point Effectiveness* occurred at the highest air flow velocity of 5 m/s, which amounted to 29.8%.

Keyword: *M-Cycle*, *DPE*, Airflow Velocity

1. Pendahuluan

Pada masa sekarang, jumlah unit pendinginan konvensional dan *Air Conditioner (AC)* digerakkan oleh listrik dengan sumber energi didasarkan pada bahan bakar fosil. Sebagai hasil dari meningkatnya kesadaran akan permasalahan ekonomi dan lingkungan dari penggunaan bahan bakar fosil, penggunaan teknologi pendinginan yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan menjadi bermakna [1]. Oleh karena itu, pendinginan evaporatif adalah cara alternatif kompresi uap mekanis untuk aplikasi pengkondisian udara. Sistem ini hanya membutuhkan seperempat tenaga listrik yang digunakan oleh kompresi uap mekanis untuk pengkondisian udara [2].

Dua jenis sistem pendinginan evaporatif yaitu sistem pendinginan evaporatif langsung dan tidak langsung. Dalam keadaan iklim yang panas dan gersang penggunaan *Direct Evaporative Cooling (DEC)* jauh lebih berhasil. Tetapi, kapasitas sistem ini dibatasi oleh jumlah uap yang dapat ditampung oleh aliran pendinginan. Di sisi lain, *Indirect Evaporative Cooling (IEC)* memberikan keuntungan dengan menurunkan

suhu ke suhu bola basah tanpa meningkatkan kelembapan [3].

M-cycle bekerja menggunakan prinsip pendinginan evaporatif tidak langsung meskipun dengan pola aliran yang berbeda. Bagian khas dari *M-cycle* adalah pola aliran di saluran basah. Dimana aliran udara yang masuk ke saluran basah di dinginkan. Secara teoritis, temperature udara suplai dapat diturunkan hingga mencapai temperature titik embun udara (*dew point*) yang masuk [3].

Pada sistem *Maisotsenko Cycle-Indirect Evaporative Cooling Ventury* dengan aliran parallel (*Parallel Flow*) melihat pada dua aliran udara yang bergerak masuk (*inlet*) searah menuju keluaran (*outlet*) pada *dry channel* (saluran kering) dengan 5 laluan di *wet channel* (saluran basah). Pola *parallel flow* pada sistem *maisotsenko ventury* akan memberikan aliran udara perlambatan sehingga memberikan waktu untuk pertukaran panas [4].

Dalam hal ini pengujian akan mengkaji permasalahan, yaitu bagaimana pengaruh variasi kecepatan udara terhadap *Dew Point Effectiveness*

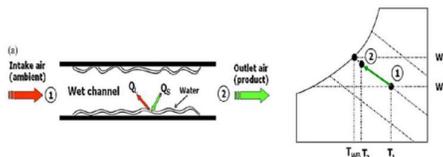
(DPE) pada sistem *Maisotsenko Cycle Indirect Evaporative Cooling Ventury* aliran parallel dengan variasi kecepatan 5 m/s, 7m/s, dan 9 m/s. Untuk membatasi penelitian adanya ditetapkan batasan yaitu setiap kecepatan aliran udara inlet blower ke outlet dianggap konstan, laju aliran air yang masuk tetap atau konstan, dan suhu air pendingin pada saluran basah dianggap konstan.

2. Dasar Teori

2.1 Pendinginan Evaporatif Langsung

Dalam proses pendinginan evaporatif langsung, aliran udara yang akan didinginkan bersentuhan langsung dengan medium basah atau semprotan air. Pendinginan evaporatif langsung biasa disebut *Direct Evaporative Cooling* (DEC). Pendinginan evaporatif langsung (DEC) memiliki perkiraan efektivitas 70-95% dalam penurunan suhu dan dalam penggunaannya namun memiliki kekhawatiran tentang masalah kualitas udara, jika perawatannya buruk [5].

Pendinginan evaporatif langsung memiliki konfigurasi sederhana dimana udara dibawa ke kontak langsung dengan air dan dilembabkan sebagai jalur 1-2. Pada kondisi saturasi adiabatik, suhu udara keluaran dapat diturunkan menjadi suhu bola basahnya. Dengan demikian, nilai efektivitas bola basah tertinggi yang dapat diperoleh secara teoritis adalah 100% [2].



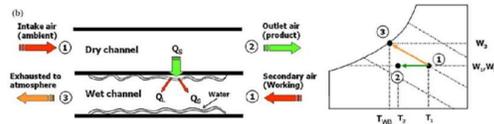
Gambar 2.1 Pendinginan Evaporatif Langsung [2]

2.2 Pendinginan Evaporatif Tidak Langsung

Dalam proses pendinginan evaporatif tidak langsung, aliran udara utama yang akan didinginkan dipisahkan dari permukaan yang dibasahi oleh plat datar atau dinding tabung sehingga udara dingin tidak secara langsung menghubungi cairan penguapan. *Indirect Evaporative Cooling* (IEC) nama lainnya dari pendinginan evaporatif tidak langsung [6].

Pendinginan evaporatif tidak langsung memiliki perkiraan efektivitas sekitar 40-65% dalam penurunan suhu. Oleh karena itu, pendinginan evaporatif tidak langsung (IEC) merupakan salah satu teknologi pendinginan alternatif untuk aplikasi AC [1].

Sistem IEC menggunakan dua aliran udara ambient dalam prosesnya yaitu saluran kering untuk udara ambient masuk (1), saluran basah udara sekunder (2), dan dipisahkan oleh polimer film tipis dinding untuk mencegah penetrasi kelembaban diantara mereka. Sepanjang jalur aliran 1-2, udara masuk kehilangan panas sensible ke sisi basah untuk penguapan air dan udara sekunder di dinginkan dengan kontak langsung dengan air sebagai jalur 1-3 [2].

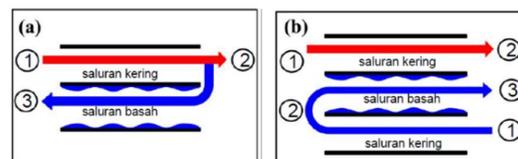


Gambar 2. 2 Pendinginan Evaporatif Tidak Langsung [2]

Siklus Maisotsenko (M-Cycle) diakui sebagai pengembangan dari teknologi IEC yang terkenal dengan aliran udara sekunder pra-pendinginan sebelum memasuki saluran udara sekunder. Karena suhu aliran udara saluran sekunder yang lebih rendah, *M-Cycle* terbukti memiliki potensi pendinginan yang tinggi dan batas pendinginan dapat memperoleh suhu titik embun (*dew point*) aliran udara masuk [7].

M-Cycle juga merupakan proses termodinamika yang menangkap energi dari udara dengan memanfaatkan energi terbarukan psikometrik yang tersedia dari panas laten air yang menguap ke udara [3].

Prinsip dasar dan fitur *M-Cycle* dapat dijelaskan dari Gambar 2.3 masing masing mewakili *M-Cycle* yang lama dan dimodifikasi. Produk serta saluran kerja dikhususkan untuk aliran udara dalam siklus *M-Cycle* lama (Gambar 2.3,a) , sedangkan siklus *M-Cycle* yang dimodifikasi (Gambar2.3,b) memberikan kebebasan untuk memulihkan panas dari cairan apapun dengan menggunakan saluran kering tambahan [10].



Gambar 2.3 Siklus Maisotsenko (M-Cycle) [10]

2.3 Efektivitas Titik Embun (*Dew Point Effectiveness*)

Titik embun adalah suhu temperatur udara yang harus didinginkan dengan uap air agar menjadi jenuh. Apabila didinginkan lebih lanjut, maka uap air di udara akan mengembun sehingga terbentuk embun. Ketika udara mendingin ke titik embunnya melalui kontak dengan permukaan yang lebih dingin daripada udara, maka air akan mengembun di permukaan [8].

Efektivitas bola basah adalah rasio perbedaan antara suhu udara masuk dan keluar terhadap perbedaan antara masuknya temperatur udara kering dan temperature bola basahnya. Ini dapat dinyatakan sebagai berikut [2].

$$\varepsilon_{dp} = \frac{T_{Din} - T_{Dout}}{T_{Din} - T_{dp}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan:

T_{Din} : Suhu udara bola kering masuk (°C)

T_{Dout} : Suhu udara bola kering keluar (°C)

T_{dp} : Suhu titik embun (°C)

ε_{dew} : Efektivitas titik embun (%)

2.4 Efektivitas Bola Basah (*Wet Bulb Effectiveness*)

Suhu outlet dari semua konfigurasi meningkat dengan meningkatnya suhu bola basah. Suhu bola basah yang meningkat mengurangi ruang lingkup penguapan air yang lebih banyak dengan menghasilkan penurunan suhu lebih rendah [8].

Namun, penurunan suhu maksimum yang mungkin juga menurun dan sebagai efek gabungan, efektivitas titik embun dari semua kalkulasi meningkat dengan peningkatan suhu bola basah. Efektivitas bola basah dapat diformulasikan sebagai berikut [9].

$$\varepsilon_{wb} = \frac{T_{Db.in} - T_{Db.out}}{T_{Db.in} - T_{Wb.in}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan:

$T_{Db.in}$: Temperatur bola kering udara masuk (°C)

$T_{Db.out}$: Temperatur bola kering udara keluar (°C)

$T_{Wb.in}$: Temperatur bola basah udara primer (°C)

ε_{wb} : Efektivitas bola basah (%)

2.5 Kapasitas Pendinginan (*Cooling Capacity*)

Kapasitas pendinginan merupakan ukuran kemampuan sistem pendingin untuk memindahkan sejumlah panas dari udara yang akan didinginkan per-satu satuan waktu. Besarnya kapasitas pendinginan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [6].

$$Q_s = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan:

Q_s : Kapasitas pendinginan (kW)

\dot{m} : Laju aliran massa udara (kg/s)

C_p : Kapasitas panas spesifik ($Kj/kg.K$)

ΔT : Selisih temperatur bola kering masuk dan keluar (°C)

3. Metode Penelitian

3.1 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian dilakukan secara eksperimental dengan tujuan menganalisa unjuk kerja pendinginan sistem *Maisotsenko Indirect Evaporative Cooling Ventury Dry Channel 5* laluan dengan aliran udara horizontal *parallel flow*.

3.2 Variabel Penelitian

Berikut ini adalah variabel-variabel dalam penelitian, yaitu:

1. Variabel Bebas

Variabel bebas pada penelitian ini adalah kecepatan aliran udara pada *dry channel* (m/s):

- V1 = 5 m/s
- V2 = 7 m/s
- V3 = 9 m/s

2. Variabel Terikat

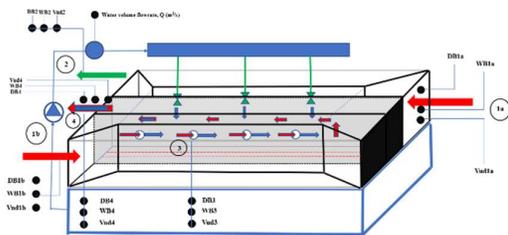
Variabel terikat pada penelitian ini adalah unjuk kerja pendinginan sistem *Maisotsenko Cycle Indirect Evaporative Cooling* termasuk didalamnya: *dry bulb temperature drop*, *wet bulb effectiveness*, *dew point effectiveness*, *dew point effectiveness*, *cooling capacity* dan *energy efficiency*.

3. Variabel Kontrol

Variabel kontrol merupakan variabel yang sengaja dikendalikan atau dibuat konstan. Dimana variabel kontrol dalam penelitian ini yaitu laju aliran volume air pada *wet channel*.

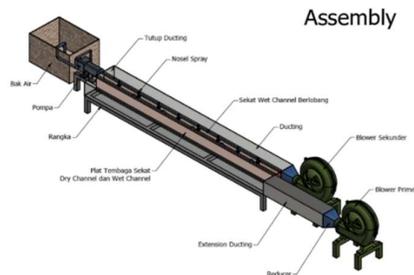
3.3 Rangkaian Alat Uji dan Dimensi Alat Uji

Dalam pengujian ini digunakan rangkaian alat uji sistem *Maisotsenko Indirect Evaporative Cooling* atau bisa disebut *M-Cycle 5 air passages* (lalu lintas udara) dengan aliran *horizontal parallel flow* antara *primary air* dari *ventury dry channel* dengan *working air* dari *wet channel* seperti pada gambar berikut..



Gambar 3.1 Sistem Maisotsenko-IEC

Pengujian nantinya dilakukan dengan pengaturan temperatur bola basah dan bola kering serta kelembaban udara untuk udara primer (*primary air*) dan udara sekunder (*secondary air*) pada sisi masuk *ventury dry channel* diatur sama dan konstan.

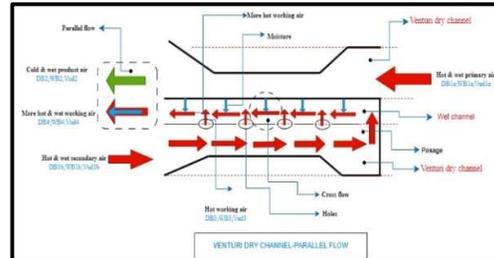


Gambar 3. 2 Dimensi Alat Uji

Pengujian nantinya dilakukan dengan pengaturan temperatur bola basah dan bola kering serta kelembaban udara untuk udara primer (*primary air*) dan udara sekunder (*secondary air*) pada sisi masuk *ventury dry channel* diatur sama dan konstan.

3.4 Cara Kerja Alat Uji

Berikut skematik diagram sistem *Maisotsenko-IEC Ventury Dry Channel* 5 laluan dengan aliran *parallel flow*.



Gambar 3.3 Skematik diagram sistem *Maisotsenk-IEC Ventury Dry Channel*

Dapat dilihat udara luar yang panas dan basah akan mengalir secara simultan masing-masing sebagai udara primer yang mengalir kedalam *dry channel* yang berhubungan dengan dinding *wet channel* yang tanpa laluan udara dan sebagai udara sekunder yang mengalir kedalam *dry channel* yang berhubungan dengan dinding *wet channel* yang memiliki laluan udara. Udara primer dan udara sekunder memiliki temperatur dan kelembabam yang sama. Udara primer yang mengalir pada *dry channel* akan mentransfer panasnya ke dinding *wet channel*. Semakin banyak panas sensible udara primer yang dapat diserap maka semakin banyak kabut air yang dapat diuapkan dan semakin dingin pula udara kerja.

4. Hasil dan Pembahasan

Pengujian eksperimental pada sistem *Maisotsenko-Indirect Evaporative Cooling*, tipe *ventury dry channel* dengan 5 laluan dan aliran udara horizontal *parallel flow* dilakukan masing-masing pada variasi kecepatan aliran udara 5 m/s, 7 m/s, dan 9 m/s. Pengukuran temperatur pada pengujian ini dilakukan pada temperatur udara *inlet* sisi saluran udara primer (TDb1a), saluran sekunder (TDb1b), serta temperatur udara *outlet* pada sisi saluran udara primer/udara produk (TDb2) dan pada sisi saluran basah (TDb3). Adapun hasil dari *dew point effectiveness* (DPE) untuk ketiga kecepatan pada tabel berikut.

Tabel 4.1 Data Distribusi Temperatur Udara Pada V.udara 5 m/s

Waktu (menit)	TDb1a (°C)	TDb2 (°C)	DPT (°C)
5	33.7	32.3	27.6
10	35.0	33.4	27.7
15	35.2	33.5	27.7
20	35.5	33.9	28.1
25	35.5	33.7	27.9
30	35.4	33.6	27.8
Rata-rata	35.1	33.4	27.8

$$\varepsilon dp = \frac{TDb1a - TDb2}{TDb1a - DPT} \times 100\%$$

$$\varepsilon dp = \frac{35,1 - 33,4}{35,1 - 27,8} \times 100\% = 23,3\%$$

Tabel 4.2 Data Distribusi Temperatur Udara Pada V.udara 7 m/s

Waktu (menit)	TDb1a (°C)	TDb2 (°C)	DPT (°C)
5	35.5	33.9	27.3
10	36.0	34.1	27.9
15	36.4	34.1	26.5
20	36.4	34.1	25.9
25	36.2	34	26.2
30	36.4	34.1	26.5
Rata-rata	36.2	34.1	26.7

$$\varepsilon dp = \frac{TDb1a - TDb2}{TDb1a - DPT} \times 100\%$$

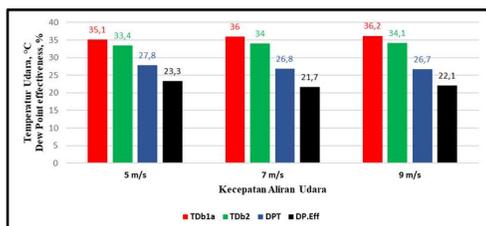
$$\varepsilon dp = \frac{36,0 - 34,0}{36,0 - 26,8} \times 100\% = 21,7\%$$

Tabel 4.3 Data Distribusi Temperatur Udara Pada V.udara 9 m/s

$$\varepsilon dp = \frac{TDb1a - TDb2}{TDb1a - DPT} \times 100\%$$

$$\varepsilon dp = \frac{36,2 - 34,1}{36,0 - 26,7} \times 100\% = 22,1\%$$

Hasil perhitungan DPE untuk ketiga kecepatan aliran udara dapat dijabarkan melalui grafik berikut.



Gambar 4.1 Grafik Temperatur Udara dan Dew Point Effectiveness

Waktu (menit)	TDb1a (°C)	TDb2 (°C)	DPT (°C)
5	34.7	32.8	27
10	35.5	33.8	27
15	36.1	34.2	26.3
20	36.5	34.3	26.6
25	36.6	34.5	26.7
30	36.8	35.0	27.2
Rata-rata	36.0	34.0	26.8

5. Kesimpulan

Melalui penelitian yang dilakukan, dapat dilihat bahwa *dew point effectiveness* (DPE) tertinggi dihasilkan pada kecepatan 5 m/s yakni sebesar 23,3%. Hal ini didapat karena udara dengan kecepatan aliran dan temperature inlet yang lebih rendah akan menghasilkan waktu interaksi pertukaran panas yang cukup lama sehingga kapasitas panas yang lebih besar dapat bertukar pada aliran udara tersebut. Dengan demikian untuk sementara dapat dikatakan bahwa DPE sistem pendingin *Maisotsenko* ini sangat tergantung pada kondisi udara luar yang akan didinginkan, termasuk didalamnya temperatur bola kering, temperatur bola basah, dan juga *dew point temperature* udara tersebut.

6. Daftar Pustaka

- [1] Pandelidisa, D., Aleksandra Cichoya. (2020). Performance study of the cross-flow Maisotsenko cycle under humid climate conditions. Department of Mechanical and Power Engineering, Wroclaw university of science and technology, 27 whyspiyski st., 50-370 wroclaw, Poland.
- [2] Riangvilaikul, B., S. Kumar. (2009). An experimental study of a novel dew point evaporative cooling system. Energy Field of Study, School of Environment, Resources and Development, Asian Institute of Technology, P.O. Box 4, Klong Luang, Pathumthani 12120, Thailand.
- [3] Khalid, O., Muzaffar Ali. (2016). Experimental analysis of an improved Maisotsenko cycle design under low velocity conditions. Mechanical Engineering Department, University of Engineering and Technology, Taxilla, Pakistan.

- [4] Tariq,R., Changhong Zhan. (2018). Numerical Study of a Regenerative Counter Flow Evaporative Cooler using Alumina Nanoparticles in Wet Channel. Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Technology, HITEC University, Taxila 47080, Pakistan.
- [5] Boukhanouf, R., Omar Amer. (2018). Design and performance analysis of a regenerative evaporative cooler for cooling of buildings in arid climates. Department of Architecture and Built Environment, University of Nottingham, Nottingham, NG& 2RD, UK.
- [6] Rogdakis D., Dr. Irene P. Koronaki. (2013). Experimental and computational evaluation Technology (B.H.U), Varanasi, Up 221005, India.
- [9] Baakem, S. S., Jamel Orf. (2021). Investigations of geometrical and operational aspects of a dew-point-air-cooling system (M-cycle), Department of Mechanical and Manufacturing Engineering, Schulich School of Engineering, University of Calgary, Calgary, Alberta, T2N IN4, Canada.
- [10] Mahmood, M. H., Muhammad Sultan.(2016). Overview of the Maisotsenko cycle- A way towards dew point evaporative cooling. Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu University, Kasuga-koen 6-1, Kasuga-shi, Fukuoka 816-8580, Japan.
- of a Maisotsenkp evaporative cooler at Greek climate.
- [7] Songa, J., Benham Sobhanib. (2020). Energy and exergy performance of an intergrated desiccant cooling system with photovoltaic/thermal using phase change material and Maisotsenko cooler. Department of Architecture, Lyliang University, Lyliang Shanxi 033000, China.
- [8] Kashyap, S., Jahar Sarkar. (2020). Comparative performance analysis of different novel regenerative evaporative cooling device topologies. Department of Mechanical Engineering, Indian Institute of



Pengaruh Kecepatan Aliran Udara terhadap *Dew Point Effectiveness* pada Sistem Pendinginan Maisotsenko-Indirect Evaporative Cooling Non-Venturi dengan Aliran Udara Horizontal Parallel Flow

Moch. Nurul Tajri, Hendra Wijaksana dan Ketut Astawa

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit Jimbaran

Bali

Abstrak

Penelitian dilakukan untuk mengetahui efektifitas titik embun alat pendingin sistem Maisotsenko dalam variasi arah aliran parallel flow dan kecepatan aliran udara. Parameter pengujian alat pendinginan ini yaitu temperatur udara masuk sisi saluran udara primer, saluran sekunder, temperatur udara produk pada sisi saluran udara primer dan pada temperatur saluran basah. Penelitian ini dilakukan untuk menguji sistem Maisotsenko dalam variasi arah aliran parallel flow dan kecepatan 5 m/s, 7 m/s, dan 9 m/s. Pengujian dilakukan dalam rentang waktu 30 menit dan pengambilan data setiap 5 menit. Hasil pengujian didapat penurunan suhu tertinggi pada variasi kecepatan 5 m/s yang bisa menurunkan temperatur mencapai 2.55°C. Berdasarkan data, unjuk kerja alat ini sangat bergantung pada laju aliran massa udara dan hasil penurunan temperatur

Kata Kunci : Siklus Maisotsenko, pendingin evaporatif, parallel flow, Temperatur udara kering, Laju aliran udara.

Abstract

The study was conducted to determine the effectiveness of the dew point of the Maisotsenko system cooling device in the variation of parallel flow direction and air flow velocity. The test parameters of this cooling device are the inlet air temperature on the side of the primary air duct, secondary duct, product air temperature on the side of the primary air duct and at the wet duct temperature. This study was conducted to test the Maisotsenko system in a variation of parallel flow direction and speed of 5 m/s, 7 m/s, and 9 m/s. Testing was carried out in a span of 30 minutes and data collection every 5 minutes. The test results obtained the highest temperature reduction at a speed variation of 5 m/s which can reduce the temperature to 2.55°C. Based on the data, the performance of this tool is highly dependent on the air mass flow rate and the result of temperature reduction.

Keywords: Maisotsenko cycle, evaporative cooler, parallel flow, Dry bulb temperature, Air flow rate.

1. Pendahuluan

Indonesia memiliki iklim tropis, suhu udara yang panas menyebabkan manusia dehidrasi sehingga masyarakat membutuhkan penggunaan pendingin udara. Tidak dapat dipungkiri bahwa penggunaan sistem pengkondisian udara banyak dipakai adalah air conditioning. Hingga saat ini, refrigeran yang masih banyak digunakan air conditioning adalah refrigeran R22 yang mengandung zat chlor dan fluor. Zat chlor dan fluor tersebut dapat mengikis lapisan ozon dengan cara mengikat molekul atomnya sehingga lama-kelamaan, lapisan ozon akan hilang dan pancaran sinar ultra violet akan semakin mudah masuk, dengan demikian, panas di bumi akan meningkat [1]. Oleh karena itu banyak dikembangkan sistem pengkondisian udara yang lebih hemat energi

dan ramah lingkungan dan salah satu diantaranya adalah sistem pendingin evaporatif. Pendinginan dengan Indirect Evaporative Cooling dilakukan dalam penukar panas dan massa yang terdiri dari dua jenis saluran, yaitu saluran udara primer dan sekunder. Saluran udara sekunder dengan pelat tertutup air dan saluran udara primer dengan pelat polos disusun dalam rangkaian berulang [2]. Sistem pendingin evaporatif merupakan sistem pengkondisian udara yang menggunakan air sebagai media pendinginan dan menambah kelembaban pada aliran udara, sehingga temperatur bola kering menjadi lebih dingin. Udara dalam proses penguapan dibedakan atas suhu bola kering (dry bulb temperature) dan suhu bola basah (wet bulb temperature). Dalam proses pengkondisian suhu

udara, teknologi IEC banyak diperhatikan karena hemat energi dan bebas polusi [3].

Siklus Maisotsenko (M-cycle) menerapkan desain yang ditingkatkan dari pendinginan evaporatif tidak langsung. Berbeda dengan sistem evaporasi konvensional yang hanya menggunakan satu tahap evaporasi, M-cycle menggunakan pendekatan multi-evaporasi untuk mencapai efisiensi yang lebih tinggi dari 105% [4]. Dengan memanfaatkan saluran tanpa Venturi, sistem ini mungkin mengoptimalkan efisiensi dengan tidak mengubah kecepatan aliran serta tekanan udara dan mengurangi kerumitan yang terkait dengan perangkat tambahan. Tipe aliran pada sistem ini menggunakan aliran parallel flow dimana arah aliran udara kerja dan udara yang didinginkan searah. Tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kecepatan aliran udara terhadap *dew point effectiveness* pada sistem pendinginan *maisotsenko-indirect evaporative cooling non-ventury* dengan aliran udara horizontal *parallel flow*.

2. Dasar Teori

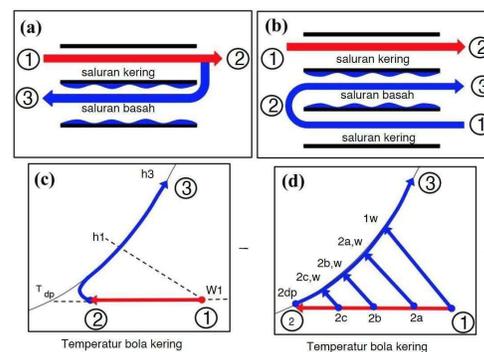
2.1 Pendingin Evaporatif Tidak Langsung

Dalam proses pendinginan evaporatif tidak langsung, aliran udara utama yang akan didinginkan dipisahkan dari permukaan yang dibasahi oleh pelat datar atau dinding tabung.[5] Udara sekunder mengalir di dalam saluran basah bersama dengan air. Perilaku udara dan air di saluran basah mirip dengan proses enaporatif langsung. Panas yang dipindahkan melalui permukaan antara saluran kering dan basah diserap oleh air sebagai panas laten dan bagian air diuapkan dengan difusi ke udara sekunder, meningkatkan kadar air di udara ini. Kelemahan utama evaporatif langsung diwakili oleh peningkatan kadar air di udara yang mungkin tidak diinginkan untuk aplikasi tertentu[6].

2.2 Siklus Maisotsenko (M-Cycle)

Siklus *M-Cycle* dianggap sebagai pengembangan dari teknologi IEC (*indirect evaporative cooling*) yang terkenal dengan aliran udara sekunder pra-pendinginan sebelum memasuki saluran udara sekunder. M-Cycle adalah proses termodinamika yang menangkap energi dari udara dengan memanfaatkan energi terbarukan psikrometrik yang tersedia dari panas laten air yang menguap ke udara. Ini menggabungkan proses termodinamika

perpindahan panas dan pendinginan evaporatif untuk memfasilitasi suhu produk untuk mencapai suhu titik embun udara sekitar. Dengan kata lain, ini juga merupakan pendinginan evaporatif tidak langsung (IEC) lanjutan di mana udara dapat didinginkan hingga suhu titik embun daripada suhu bola basah. Namun, selain udara dingin, M-Cycle menghasilkan udara panas jenuh yang dibutuhkan oleh banyak aplikasi. Teknologi M-Cycle telah menjadi subjek dari banyak penelitian dalam hal pemodelan matematika, pengembangan penukar panas, kinerjanya, dan kemungkinan penerapannya di berbagai sistem pendingin udara [2].



Gambar 2. 1 Diagram skematik Siklus Maisotsenko untuk: (a) Siklus-M lama, (b) Siklus-M yang dimodifikasi, (c) representasi psikrometrik, dan (d) penurunan suhu berurutan di saluran basah.

Prinsip dasar dan fitur M-Cycle dapat dijelaskan dari Gambar. 2.1 (a) dan (b) masing-masing mewakili M-Cycle yang lama dan yang dimodifikasi. Representasi psikrometrik dari M-Cycle lama dan termodifikasi ditunjukkan pada Gambar 2.1(c). Ini terdiri dari dua jenis saluran primer yang disebut saluran basah dan kering. Produk serta saluran kerja dikhususkan untuk aliran udara dalam kasus Siklus-M lama (Gbr. 2.3a), sedangkan Siklus-M yang dimodifikasi (Gambar. 2.1b) memberikan kebebasan untuk memulihkan panas dari cairan/gas apa pun dengan menggunakan saluran kering tambahan. Untuk aplikasi pendinginan dan AC, udara produk/proses mengalir ke saluran kering sedangkan udara kerja mengalir ke saluran basah. Misalnya, udara ambient (1) dialirkan ke saluran kering dimana udara tersebut didinginkan secara masuk akal pada kelembapan konstan ke titik siklus (2) dengan memindahkan panas ke saluran basah. Prinsip operasional M-Cycle didasarkan pada pengalihan udara dingin (2) ke saluran basah untuk digunakan sebagai

udara kerja. Ini menghasilkan penurunan suhu bola kering efektif (1 - 2a; 2b; 2c; 2) dan bola basah (1w - 2a,w; 2b,w; 2c,w; 2dp) dari udara kerja di lingkungan basah. - saluran seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 2.1 (d).

2.2 Suhu Bola Kering

Pengukuran bola kering pada dasarnya mengacu pada suhu udara atau lingkungan sekitar. Suhu bola kering disebut bola kering karena kelembaban tidak mempengaruhi suhu udara yang ditunjukkan oleh termometer. Suhu bola kering dapat diukur dengan termometer biasa, tetapi terlindung dari radiasi dan kelembapan. Suhu bola kering merupakan indikator kandungan panasnya [7].

2.3 Diagram Psikometri

Pada beberapa proses pengkondisian udara, kandungan air sengaja disingkirkan dari udara, tetapi pada proses yang lain air ditambahkan. Ada beberapa istilah yang dipakai dalam diagram psikometri ini yaitu seperti temperatur bola kering, temperatur bola basah, kelembapan udara, kelembapan relatif volume spesifik, titik embun dan entalpi [8]

2.4 Laju Aliran

Dari pendingin evaporative regenerative, peningkatan laju aliran udara dapat mengurangi efektivitas titik embun. Efek pendinginan berkurang karena laju aliran yang meningkat mengurangi waktu interaksi pertukaran panas dan massa. Kapasitas pendinginan pendingin evaporatif regeneratif meningkat karena peningkatan massa udara pasokan meningkatkan perpindahan panas. Suhu udara suplai meningkat pada kecepatan yang lebih tinggi tetapi didominasi oleh laju aliran massa yang lebih tinggi dalam hal peningkatan kapasitas pendinginan pendingin evaporatif. Perbedaan dalam kapasitas pendinginan untuk semua konfigurasi berada pada kisaran yang lebih dekat pada kecepatan rendah sementara secara signifikan besar pada kecepatan udara primer yang lebih tinggi [9].

2.5 DPE (Dew Point Effectiveness)

Kondisi inlet dan outlet udara proses dapat digunakan untuk mengevaluasi kinerja sistem pendinginan evaporatif titik embun dengan menggunakan dua indeks, yaitu efektivitas bola basah dan titik embun. Konfigurasi sistem pendinginan evaporatif titik embun telah diusulkan dengan menggunakan pengaturan arus balik untuk semua fluida yang

mengalir [10]. Konfigurasi desain dirangkum sebagai berikut:

$$\varepsilon_{dp} = \frac{T_{dB.in} - T_{dB.out}}{T_{dB.in} - T_{dp}} \times 100\%$$

Dimana:

$$\varepsilon_{dp} = \text{Dew point effectiveness (\%)}$$

TdB.in = Temperatur bola kering udara primer inlet (°C)

Tdb.out = Temperatur bola kering udara primer outlet (°C)

Tdp.in = Temperatur dew point udara primer inlet (°C)

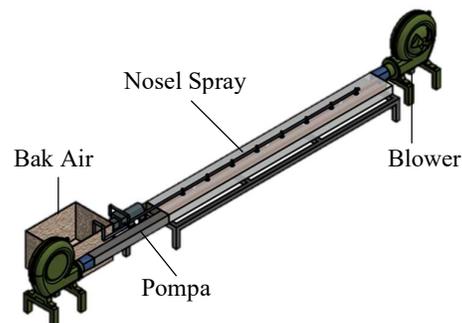
3. Metode Penelitian

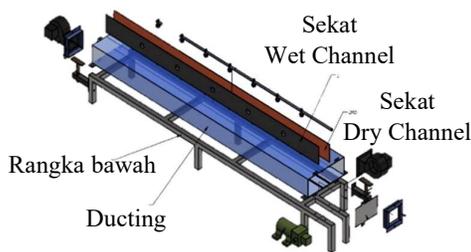
3.1 Alat dan bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

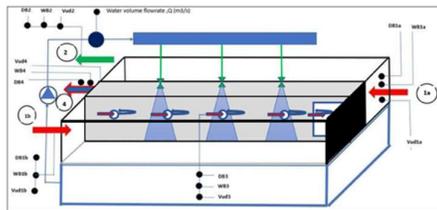
1. UNI-T UT333 *Thermometer Hygrometer Humidity*
2. Digital wind anemometer
3. Pompa pengabut
4. Nozzel
5. Dimer
6. Stopwatch
7. Plat alumunium dan tembaga
8. Blower keong
9. Gerinda dan bor
10. Alumunium foil

3.2 Rangkaian Alat Uji





Gambar 3. 1 Alat uji non-venturi counter flow



Gambar 3. 3 Sistem Maisotsenko non-venturi dry channel 5 laluan udara aliran parallel flow

DB1a = Primary air dry bulb temperature inlet

WB1a = Primary air wet bulb temperature inlet

RH1a = Primary air velocity inlet

DB1b = Secondary air dry bulb temperature inlet

WB1b = Secondary air wet bulb temperature inlet

RH1b = Secondary air velocity inlet

DB2 = Product air dry bulb temperature outlet

WB2 = Product air wet bulb temperature outlet

RH2 = Product air velocity outlet

DB4 = Working air dry bulb temperature outlet

WB4 = Working air wet bulb temperature outlet

RH4 = Working air velocity outlet

Q = Water volume flowrate

3.3 Cara Kerja Alat Uji

Aliran udara primer dan udara sekunder akan masuk masing-masing kedalam dry channel tanpa laluan udara dan dry channel dengan laluan udara. Udara primer dan udara sekunder memiliki kecepatan aliran, temperatur inlet dan kelembaban yang sama pada saat masuk ke dry channel. Panas udara primer akan ditransfer secara konveksi pada dinding luar wet channel kemudian merambat secara konduksi masuk ke dinding bagian dalam

wet channel. Panas sensibel udara primer pada dinding bagian dalam wet channel ini akan diserap oleh kabut air yang disemprotkan melalui nozel dari arah atas aliran udara wet channel secara bersilangan, dimana terjadi proses evaporasi. Pada sistem M- IEC ini, udara yang didinginkan (udara primer) tidak mengalami kontak langsung dengan air (indirect evaporative cooling), sehingga udara produk yang dihasilkan memiliki kandungan uap air yang sama dengan udara inletnya (udara luar). Sedangkan udara sekunder pada wet channel, akan mengalami kontak langsung dengan air (direct evaporative cooling) dan luarnya adalah udara yang lebih panas dan lebih basah.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Data Hasil Penelitian

Pengujian eksperimental pada sistem ini dilakukan pada variasi kecepatan aliran udara 5 m/s, 7 m/s, dan 9 m/s. Untuk mendapatkan nilai dari DPE ini maka dilakukan pengukuran temperatur pada pengujian ini dilakukan pada temperatur udara inlet sisi saluran udara primer (Tdb1a), temperatur outlet pada sisi saluran primer. Saluran masuk udara primer dan sekunder dianggap sama saat awal masuk. Hasil perhitungan DPE untuk ketiga kecepatan aliran udara dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4. 1 Data distribusi temperatur udara pada kecepatan 5 m/s

Waktu (Menit)	TdB1a (°C)	TdB 2 (°C)	DPT (°C)
5	33,9	31,9	24,4
10	34,5	32,35	24,6
15	35,4	32,7	25
20	35,6	32,85	25,2
25	35,8	32,95	25,5
30	35,8	32,95	26
Rata-rata	35,17	32,62	24,4

Tabel 4. 2 Data distribusi temperatur udara pada kecepatan 7 m/s

Waktu (Menit)	TdB1a (°C)	TdB 2 (°C)	DPT (°C)
5	32,9	32,3	26
10	32,9	32,2	26,2
15	33,5	32,8	25,8
20	33,8	32,6	26,1
25	34,3	32,9	26,2
30	34,6	33,05	26,4
Rata-rata	33,67	32,64	26,12

Tabel 4. 3 Data distribusi temperatur udara pada kecepatan 9 m/s

Waktu (Menit)	TdB1a (°C)	TdB 2 (°C)	DPT (°C)
5	35,4	33,25	24,7
10	36,0	34,05	25,4
15	36,3	34,15	25,2
20	36,2	34	25,2
25	36,3	34,15	26,2
30	35,9	33,9	25,3
Rata-rata	36,02	33,92	25,33

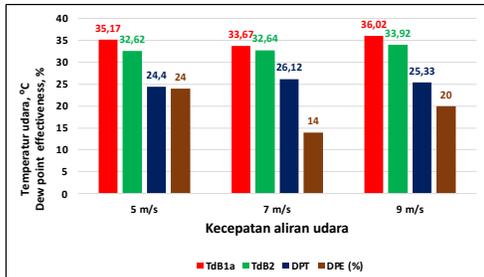
$$\varepsilon_{dp} = \frac{T_{dB.in} - T_{dB.out}}{T_{dB.in} - T_{dp}} \times 100\%$$

$$\varepsilon_{dp} = \frac{T_{dB.1a} - T_{dB.2}}{T_{dB.1a} - T_{dp}} \times 100\%$$

$$\varepsilon_{dp} = \frac{35,17 - 32,62}{35,17 - 24,4} \times 100\% = 24\%$$

$$\varepsilon_{dp2} = \frac{33,67 - 32,64}{33,67 - 26,12} \times 100\% = 14\%$$

$$\varepsilon_{dp3} = \frac{35,02 - 33,92}{36,02 - 25,33} \times 100\% = 20\%$$



Gambar 4. 1 Grafik temperatur dan dew point effectiveness

4.2 Pembahasan

Berdasarkan pada tabel distribusi temperatur udara pada kecepatan 5m/s, 7ms, 9m/s dan gambar 4.1, dapat dilihat bahwa DPE tertinggi dihasilkan pada kecepatan aliran udara 5 m/s yakni sebesar 24%, sedangkan DPE terendah terjadi pada kecepatan aliran udara 7 m/s yakni sebesar 14%. Hasil DPE tinggi pada kecepatan aliran udara 5 m/s didapat karena udara dengan kecepatan aliran yang rendah dan temperatur inlet yang lebih tinggi, akan menghasilkan kapasitas panas yang lebih besar pada aliran udara tersebut. Dengan kapasitas panas udara yang lebih besar yang dialirkan dan kecepatan aliran yang rendah, maka akan lebih banyak panas sensibel udara terserap oleh plat

penukar panas secara konveksi, sehingga menghasilkan selisih temperatur bola kering yang lebih besar dengan waktu tinggal dalam saluran lebih lama sehingga pertukaran temperatur terjadi lebih lama daripada kecepatan yang lebih tinggi. Dengan demikian secara proporsional akan dihasilkan DPE yang lebih tinggi. Dengan demikian untuk sementara dapat dikatakan bahwa DPE sistem pendingin *Maisotsenko* ini, sangat tergantung pada kondisi udara luar yang akan didinginkan, termasuk didalamnya temperatur bola kering, temperatur bola basah dan juga dew point temperatur udara tersebut, serta juga kecepatan aliran udaranya.

5. Kesimpulan

DPE sangat bergantung pada temperatur udara masuk dan kecepatan aliran udara. Semakin tinggi temperatur udara yang masuk dan semakin rendah kecepatan aliran udara, maka semakin besar selisih udara yang diturunkan.

Daftar Pustaka

- [1.] Gunawan, T., Tanujaya, H., & Aziz, A. (2014). Uji Eksperimental Mesin Pendingin Berpendingin Air Dengan Menggunakan Refrigeran R22 Dan Refrigeran R407c. *POROS*, 12(2), 165-172.
- [2.] Pandelidisa, D., Aleksandra Cichoya. (2020). Performance study of the cross-flow Maisotsenko cycle under humid climate conditions. Department of Mechanical and Power Engineering, Wroclaw university of science and technology, 27 whyspiyski st., 50-370 wroclaw, Poland.
- [3.] Zhang, H., Ma, H., Ma, S., & Yang, M. (2021). Investigation on the performance of an indirect evaporative cooling system integrated with liquid dehumidification. *Energy and Buildings*, 251, 111356.
- [4.] Hasan, A. (2010). Indirect evaporative cooling of air to a sub-wet bulb temperature. *Applied Thermal Engineering*, 30(16), 2460-2468.
- [5.] Nuriyadi, N., & Muhammad, M. (2019). Perbandingan Kinerja Sistem Pendingin Evaporatif Jenis Langsung dan Tak Langsung. *EDUSAINTEK*, 3.
- [6.] Khalid, O., Muzaffar Ali. (2015). Experimental analysis of an improved

- Maisotsenko cycle design under low velocity conditions. Mechanical Engineering Department, University of Engineering and Technology Taxila, Pakistan.
- [7.] Dizaji, H. S., Eric Jing Hu. (2018). A comprehensive review of the Maisotsenko- cycle based air conditioning systems. School of Mechanical Engineering, The University of Adelaide, Adelaide, SA 5005, Australia.
- [8.] Ridhuan, K., & Refai, A. (2013). Analisa Kebutuhan Beban Pendingin dan Daya Alat Pendingin AC Untuk Aula Kampus 2 UM Metro. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 2(2).
- [9.] Kashyap, S., Jahar Sarkar. (2020). Comparative performance analysis of different novel regenerative evaporative cooling device topologies. Department of Mechanical Engineering, Indian Institute of Technology (B.H.U.), Varanasi, UP 221005, India.
- [10.] Riangvilaikul, B., & Kumar, S. (2010). An experimental study of a novel dew point evaporative cooling system. *Energy and Buildings*, 42(5), 637-644.

	<p>Moch. Nurul Tajri menempuh pendidikan program sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana pada tahun 2019 dan menyelesaikannya pada tahun 2024 dengan topik penelitian Pengaruh Kecepatan Aliran Udara terhadap <i>Dew Point Effectiveness</i> Pada Sistem Pendinginan <i>Maisotsenko Indirect Evaporative Cooling Non-Ventury</i> Dengan Aliran Udara Horizontal <i>Parallel Flow</i>. Bidang penelitian yang menjadi konsentrasi pada penelitian tersebut adalah KONVERSI ENERGI</p>
---	---

Pengaruh Suhu Permukaan Terhadap Kekerasan Kampas Rem *Original Equipment Sparepart*

Jenson Andretti, I Made Widiyarta, I Made Parwata
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit, Jimbaran Bali

Abstrak

Kampas rem adalah salah satu komponen bagian rem yang penting karena kampas rem mencekram disk brake sehingga memperlambat laju kendaraan. Kecepatan laju kendaraan mempengaruhi beban pengereman yang berdampak pada keausan material kampas rem. Beban pengereman mempengaruhi suhu permukaan kampas rem yang dapat mengubah sifat kekerasan pada permukaan kampas rem. Oleh karena itu, dalam penelitian ini penulis melakukan pengujian kekerasan material / Brinell Test. Hasil penelitian dari pengujian kekerasan material / Brinell Test dengan standar (ASTM E10-15) menunjukkan lebar indentasi yang meningkat seiring dengan meningkatnya suhu permukaan kampas rem, pada suhu ruang 27 °C memiliki nilai HBW sebesar 56,74 HBW dan penelitian berturut-turut untuk suhu permukaan 150, 250, 350, dan 450 °C menghasilkan nilai kekerasan berturut-turut sebesar 42,01 HBW, 36,33 HBW, 31,12 HBW, dan 27,34 HBW. Sehingga dapat disimpulkan bahwa suhu permukaan kampas rem OES dapat mempengaruhi kekerasan material kampas rem OES.

Kata kunci: Kampas rem, Suhu Permukaan, Brinell Test

Abstract

Break Pad is one of the important brake components because the break pads grips the disk brake thereby slowing down the speed of the vehicle. The Speed of the vehicle affects the braking load which has an impact on the wear of the brake pad material. The braking load affects the surface temperature of the brake lining which can change the hardness properties of the brake pad. Therefore, in this research, the writer carried out material hardness testing / Brinell Test. The results of research from material hardness testing / Brinell Test with standards (ASTM E10-15) show that the indentation width increases along with increasing brake pad surface temperature, at room temperature 27 °C it has an HBW value of 56.74 HBW and consecutive research for temperature surfaces of 150, 250, 350, and 450 °C produce hardness values of 42.01 HBW, 36.33 HBW, 31.12 HBW, and 27.34 HBW, respectively. So can be concluded that surface temperature on the OES brake pad can affect the hardness of OES brake pad material.

Keyword: Break pad, Surface Temperature, Brinell Test

1. Pendahuluan

Indonesia tergolong sebagai negara yang berkembang yang memiliki kekayaan alam berlimpah, serta kebutuhan akan teknologi yang meningkat baik di bidang otomotif terutama kendaraan sepeda motor, dengan tipe sepeda motor yang beragam maka kebutuhan *sparepart* semakin meningkat salah satu komponennya adalah kampas rem. Kampas rem merupakan bagian penting dalam pengereman sepeda motor, karena berfungsi untuk mencekram *disk brake* agar dapat memperlambat laju kendaraan. Untuk mendapatkan pengereman yang maksimal dibutuhkan kampas rem dengan kemampuan pengereman yang baik, kualitas kampas rem dipengaruhi oleh kekerasan dari bahan kampas rem [1]. Selain itu kampas rem yang ideal harus memiliki tingkat keausan yang rendah, koefisien gesek yang tinggi, dan kemampuan yang baik dalam menyerap getaran. Biasanya, kampas rem terbuat dari material asbes yang diubah bentuknya agar dapat menghasilkan gesekan yang kuat dan mampu memberikan cengkrama yang baik pada cakram rem [2].

Dalam konsep pengereman hal yang tidak dapat dihindarkan adalah keausan. Keausan (*wear*) adalah hilangnya material dari permukaan benda padat

sebagai akibat dari gerakan mekanik [3]. Beberapa faktor yang mempengaruhi keausan adalah kekasaran material, tekanan, dan kecepatan.

Oleh sebab itu, penelitian ini akan membahas tentang perbedaan nilai kekerasan yang dipengaruhi oleh suhu permukaan tinggi pada kampas rem OES.

2. Dasar Teori

1. Kampas Rem

Kampas rem pada sistem pengereman adalah komponen yang penting dikarenakan memiliki fungsi untuk mencengkram *disk brake* agar memperlambat laju kendaraan.

2. Keausan

Keausan adalah hilangnya material pada permukaan benda yang disebabkan gerakan mekanik. Keausan pada kampas rem terjadi saat kampas rem bergesekan secara terus menerus dengan *disk brake*.

3. Kekerasan

Kekerasan merupakan sifat material yang menyatakan material tersebut memiliki kemampuan untuk menahan deformasi plastis. Kekerasan merupakan faktor penting yang menentukan penerapannya pada suatu bahan dan juga ketahanan dari keausan [4], dan mempengaruhi ketahanan aus suatu material.

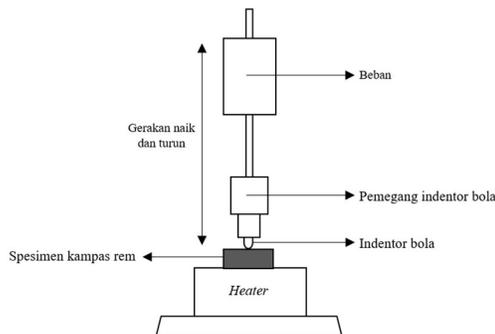
Kekerasan material dipengaruhi oleh komposisi yang dikandung.

4. Brinell Test

Uji kekerasan dengan standar ASTM E10-15 merupakan salah satu metode uji nilai kekerasan suatu material. Metode ini berupa pembentukan indentasi di permukaan material dengan menggunakan indenter bola terbuat dari baja. Bola baja berukuran 2,5 mm menggunakan nilai gaya sebesar 7,8125 kgf. Alat uji dan mekanisme kekerasan menggunakan alat seperti ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 1. Alat Uji Kekerasan



Gambar 2. Skema Alat Uji Kekerasan

Nilai kekerasan brinell dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$HBW = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Dengan

F = Beban Tekan (kg)

D = Diameter bola indentor (mm)

d = Diameter jejak indentasi (mm)

3. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat beberapa variabel dalam pengujian kekerasan antara lain :

1. Variabel Bebas

Variabel bebas penelitian ini adalah menggunakan heater dengan suhu permukaan kontak, yaitu 150, 250, 350, dan 450 °C dengan toleransi suhu ±5-10 °C.

2. Variabel Terikat

Variabel terikat penelitian ini adalah nilai kekerasan kampas rem dengan menggunakan alat uji *brinell test*

3. Variabel Kontrol

Variabel kontrol penelitian ini adalah kampas rem merk Yamaha dengan kode komponen 28M-F5805-00 dan waktu tahan (*holding time*) pada proses penekanan selama 15 detik.

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

1. Alat uji *brinell test*
2. Amplas
3. Neraca digital
4. Kuas
5. Heater
6. Kampas rem OES

1. Brinell Test

Uji kekerasan menggunakan alat *brinell test* dengan standar (ASTM E10-15). Dengan beban tekan sebesar 7,8125 kg, diameter indentor bola berukuran 2,5 mm, dan waktu penekanan selama 15 detik. Pengujian dilakukan dengan tahap - tahap sebagai berikut:

- Melakukan kalibrasi beban dengan neraca digital.
- Mengatur beban sebesar 7,8 kg pada alat uji.
- Menghaluskan permukaan kampas rem menggunakan amplas.
- Meletakkan spesimen kampas pada *heater*
- Meletakkan *heater* pada alat uji.
- Memanaskan spesimen menggunakan *heater* sesuai dengan variabel bebas.
- Menurunkan beban sampai bersentuhan dengan spesimen dan dilepaskan sehingga menekan selama 15 detik kemudian diangkat sampai posisi semula.
- Mengamati diameter jejak indentasi menggunakan mikroskop digital dan mengukur diameter jejak indentasi dengan *software* “imagej”.
- Menghitung nilai kekerasan.

2. Uji Metalografi

Uji Metalografi menggunakan aplikasi “Hiview” dan “Imagej” untuk menganalisa foto makro pada spesimen. Pengujian dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- Mengunduh *software* “Imagej” dan “Hiview”.
- Melakukan kalibrasi pada alat digital microscope dengan mengatur ketinggian dan fokus.
- Menggunakan *software* “Hiview” untuk memfoto penggaris kalibrasi sejajar dengan permukaan spesimen sebagai acuan kalibrasi.

- Buka aplikasi “ImageJ”.
- Pilih “Open” dan pilih gambar dengan penggaris kalibrasi dan spesimen. Kemudian “Straight” agar dapat menarik garis pada gambar penggaris misal 1 mm.
- Pilih “Analyze” kemudian “Set Scale” lalu mengatur “known distance : 1”, unit of length : mm”, dan ceklis “global”.
- Foto spesimen hasil uji keausan dan uji kekerasan.
- Mengukur lebar indentasi / goresan pada foto spesimen agar dapat menghitung nilai HBW dan Laju Keausan.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Data Hasil Lebar Indentasi

Hasil uji kekerasan / *brinell test* pada spesimen kampas rem dianalisa menggunakan *software* “Hiview” dan “Imagej” dapat dilihat pada gambar-gambar dibawah:



Gambar 3. Lebar Diameter Indentasi 0,419 mm



Gambar 4. Lebar Diameter Indentasi 0,489 mm



Gambar 5. Lebar Diameter Indentasi 0,514 mm



Gambar 6. Lebar Diameter Indentasi 0,547 mm



Gambar 7. Lebar Diameter Indentasi 0,595 mm

Dari 5 gambar diatas dapat dilihat bahwa hasil analisa lebar diameter indentasi menghasilkan diameter yang tidak konsisten akibat sifat material kampas rem yang *porous*.

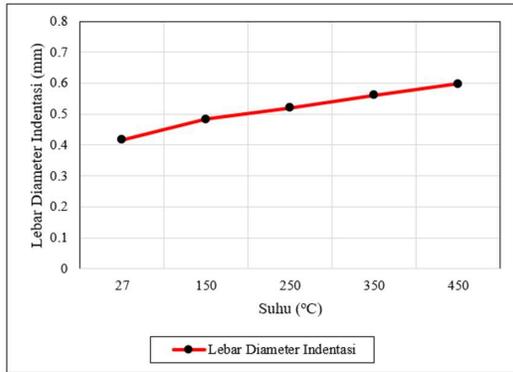
4.2 Data Hasil Lebar Diameter Rata-Rata Indentasi *Brinell test*

Hasil lebar diameter rata-rata indentasi setelah uji kekerasan terlihat pada tabel 1.

Tabel 4. 2 Lebar Diameter Rata-Rata Indentasi

Suhu (°C)	Lebar Diameter Indentasi (mm)					Rata-Rata
	1	2	3	4	5	
27	0,423	0,412	0,419	0,426	0,406	0,417
150	0,476	0,489	0,476	0,489	0,491	0,484
250	0,528	0,521	0,515	0,514	0,521	0,520
350	0,547	0,555	0,514	0,576	0,567	0,561
450	0,601	0,595	0,521	0,594	0,601	0,598

Pengujian *brinell test* dilakukan sebanyak 5 kali tiap variasi suhu agar didapatkan lebar diameter rata-rata indentasi.

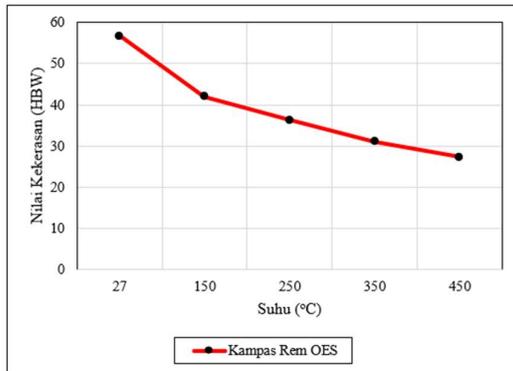


Gambar 8. Grafik Lebar Diameter Indentasi

Dari tabel 1 dapat dilihat bahwa lebar diameter indentasi semakin membesar dengan meningkatnya suhu permukaan spesimen kampas rem.

4.3 Data Hasil Nilai Kekerasan

Spesimen	Nilai Kekerasan Brinell (HBW)				
	27 °C	150 °C	250 °C	350 °C	450 °C
Kampas rem OES	56,74	42,01	36,33	31,12	27,34



Gambar 3. Grafik Uji Kekerasan

Hasil uji kekerasan kampas rem OES merk Yamaha setelah dipanaskan dengan berbagai variasi suhu permukaan dapat diamati nilai kekerasannya menurun berbanding terbalik dengan naiknya suhu permukaan kampas rem OES.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil uji kekerasan yang sudah dilakukan, kesimpulan yang diperoleh adalah nilai kekerasan kampas rem OES mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya suhu permukaan, yaitu pada suhu ruang 27 °C mendapatkan nilai kekerasan sebesar 56,74 HBW sedangkan pada suhu permukaan tinggi sebesar 450 °C mendapatkan nilai kekerasan sebesar 27,34 HBW. Hal ini menandakan bahwa suhu permukaan kampas rem menyebabkan sifat material kampas rem menjadi lebih lunak, sehingga suhu permukaan mempengaruhi kekerasan kampas rem.

Daftar Pustaka

- [1] Multazam, A., Zainuri, A., & Sujita, S. (2012). **Analisa Pengaruh Variasi Merek Kampas Rem Tromol Dan Kecepatan Sepeda Motor Honda Supra X125 Terhadap Keausan Kampas Rem.** *Dinamika Teknik Mesin*, 2(2), 100–107. <https://doi.org/10.29303/d.v2i2.101>.
- [2] Sumiyanto., Abdunnaser., & Noor, A. (2019). **Analisa Pengujian Gesek, Aus dan Lentur Pada Kampas Rem Tromol Sepeda Motor.** *Bina Teknika*, Vol. 15 No.1, Edisi Juni 2019, 49-59. <https://doi.org/10.54378/bt.v15i1.872>.
- [3] Ala, N., Darmato., & Syafa'at, I. (2013). **Analisa Keausan Baja ST60 Menggunakan Alat Tribotester Tipe Pin On Disc Dengan Variasi Kondisi Pelumas.** *Momentum*, vol.9, No. 2, Oktober 2013, Hal. 1-4 <http://dx.doi.org/10.36499/jim.v9i2.917>.
- [4] Abdul, M., Suroso, I., & Utami, N. (2022). **Analisis Kekerasan dan Keausan Bearing Pada Pesawat Cessna Grand Carravan 208B.** *TURBO* vol.11 No. 1. 2022. <http://dx.doi.org/10.24127/trb.v11i1.2045>.
- [5] ASTM E10-15. (2012). **Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials.** *ASTM International*, June, 1-36. <https://doi.org/10.1520/E0010-15>.

	<p>Jenson Andretti Menyelesaikan program sarjana di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana pada tahun 2024.</p>
	<p>Judul tugas akhir Pengaruh Laju Keausan Kampas Rem Pada Variasi Kecepatan Gesek dan Suhu Permukaan Kampas Rem</p>

Analisis Pengaruh Tekanan Kerja Anoda Terhadap Performa Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)

Leo Obed Dwikyra Sibarani, Made Sucipta, I Gede Putu Agus Suryawan
Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

PEMFC adalah perangkat konversi energi dari energi hidrogen menjadi energi listrik melalui proses elektrokimia. PEMFC menjadi salah satu teknologi yang dikembangkan dalam mengatasi permasalahan lingkungan dalam sektor transportasi yang dapat dimanfaatkan sebagai penggerak FCEV (Fuel Cell Electric Vehicle). Sifat komponen-komponen penyusun PEMFC dan fluida reaktan merupakan faktor-faktor yang memengaruhi kerja dari PEMFC, yang salah satunya adalah tekanan kerja. Penelitian ini dilakukan untuk melakukan penelitian terhadap kinerja dan fenomena aliran dalam PEMFC pada berbagai tekanan kerja anoda dengan nilai beban yang sama sebesar 1 A. Hasil dari penelitian ini menunjukkan performa yang lebih baik pada PEMFC dengan tekanan kerja anoda yang semakin besar. Selain itu, pada tekanan kerja yang lebih tinggi terjadi peningkatan persebaran reaktan pada MEA dan meningkatkan reaksi yang terjadi pada katoda yang ditunjukkan dengan semakin banyaknya produksi air pada sisi katoda.

Kata kunci: PEMFC, tekanan

Abstract

PEMFC is a device for converting energy from hydrogen energy into electrical energy through an electrochemical process. PEMFC is one of the technologies developed in overcoming environmental problems in the transportation sector that can be used as a driver of FCEV (Fuel Cell Electric Vehicle). The properties of the constituent components of PEMFC and reactant fluids are factors that affect the work of PEMFC, one of which is working pressure. This study was conducted to conduct research on the performance and flow phenomenon in PEMFC at various anode working pressures with the same load value of 1 A. The results of this study showed better performance in PEMFC with greater anode working pressure. In addition, at higher working pressures there is an increase in the distribution of reactants in MEA and an increase in reactions that occur at the cathode as indicated by the increasing production of water on the cathode side.

Keywords: PEMFC, pressure

1. Pendahuluan

Sektor transportasi merupakan kontributor gas emisi rumah kaca yang besar di dunia, sehingga perubahan yang signifikan menuju keberlanjutan dalam sektor transportasi seperti kendaraan berbasis listrik sangat penting untuk dilakukan [1]. Hingga pada saat ini terdapat beberapa jenis kendaraan listrik yang berkembang, yaitu kendaraan listrik berbasis baterai, kendaraan listrik *hybrid*, dan kendaraan listrik berbasis *fuel cell*.

Kendaraan listrik berbasis *fuel cell* (FCEV) adalah kendaraan yang menggunakan hidrogen sebagai bahan bakar utamanya dan merupakan salah satu pilihan utama untuk digunakan sebagai alternatif kendaraan konvensional di masa depan [2]. Dalam pengoperasiannya, FCEV menggunakan *fuel cell* yang pada umumnya adalah *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) untuk mengkonversi hidrogen menjadi energi listrik.

PEMFC merupakan perangkat konversi energi yang memanfaatkan energi dari hidrogen menjadi energi listrik melalui reaksi elektrokimia [3]. PEMFC tersusun dari komponen-komponen berupa *bipolar plate*, *gas diffusion layer*, *catalyst layer*, dan membran [4]. Sifat-sifat fluida dan komponen penyusun PEMFC menjadi faktor yang mempengaruhi

kemampuan kerja dari PEMFC yang salah satunya adalah tekanan.

Computational Fluid Dynamics (CFD) adalah metode numerik yang digunakan untuk memecahkan dan menganalisis masalah yang melibatkan aliran fluida. Dengan bantuan CFD, fenomena-fenomena yang terjadi dalam fluida dapat dianalisa secara mendalam yang dimana hal ini tidak dapat dilakukan dengan cara eksperimental.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui fenomena yang terjadi pada PEMFC dan performanya dengan variasi tekanan kerja pada anoda dengan pembebanan yang sama. Untuk mengetahui performa dan fenomena aliran pada PEMFC, maka dalam penelitian ini akan digunakan metode simulasi CFD.

Dalam hal ini maka ada beberapa permasalahan yang akan dikaji, yaitu:

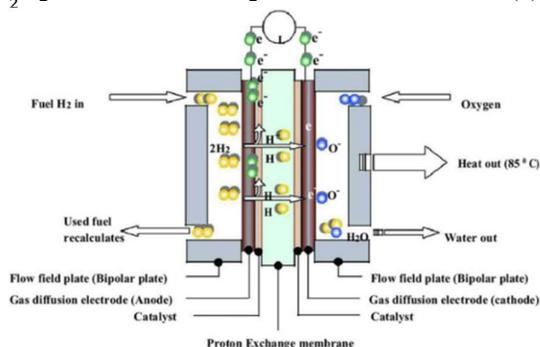
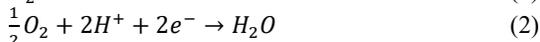
1. Bagaimana pengaruh tekanan kerja anoda terhadap fenomena aliran yang terjadi pada PEMFC?
2. Bagaimana pengaruh tekanan kerja terhadap performa kerja PEMFC?

Beberapa batasan ditetapkan dalam penelitian ini meliputi:

1. Penelitian ini tidak dilakukan pada keseluruhan PEMFC, tetapi hanya terhadap satu jalur aliran PEMFC.
2. Penelitian ini tidak melibatkan perubahan fasa.

2. Dasar Teori

PEMFC adalah perangkat yang berfungsi untuk menghasilkan listrik melalui proses reaksi elektrokimia [5]. PEMFC memanfaatkan hidrogen dan oksigen yang pada biasanya diperoleh dari udara lingkungan pada lingkungan. Proses kerja pada PEMFC melibatkan reaksi redoks pada hidrogen (anoda) dan oksigen (katoda) seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses Kerja dan Komponen Fuel Cell

Elektron yang dihasilkan pada anoda melalui reaksi pada anoda akan berpindah menuju elektroda melalui sirkuit, sementara ion hidrogen mengalir menuju katoda melalui membran yang berfungsi sebagai pemisah anoda dan katoda dan untuk mendistribusikan proton [6]. Elektron dan ion hidrogen yang sampai menuju katoda kemudian akan bereaksi dengan oksigen dan menghasilkan listrik, air, dan panas.

Karakteristik PEMFC ditunjukkan melalui grafik densitas arus (i) dan tegangan (V/i) dari PEMFC tersebut. Karakteristik grafik V/i pada PEMFC merupakan hasil dari adanya energi yang hilang pada operasi fuel cell yang berakibat pada turunnya tegangan PEMFC [7]. Hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil nilai tegangan PEMFC, maka semakin besar losses yang dialami.

Pada simulasi PEMFC menggunakan bantuan software CFD terdapat persamaan pembangun yang digunakan pada tiap komponen PEMFC [8] sebagai berikut.

- Kekelalan Massa

$$\frac{\partial(\epsilon\rho)}{\partial t} + \nabla \cdot (\epsilon\rho\vec{V}) = S_m \quad (3)$$

- Kekelalan Momentum

$$\frac{\partial(\epsilon\rho\vec{V})}{\partial t} + W_k \nabla \cdot (\epsilon\rho\vec{V}\vec{V}) = -\epsilon\nabla P + \epsilon\mu\nabla^2\vec{V} + S_M \quad (4)$$

- Kekelalan Spesies

$$\frac{\partial(\epsilon\rho W_k)}{\partial t} + \nabla \cdot (\epsilon\rho W_k\vec{V}) = -\nabla \cdot [D_k\nabla(\rho W_k)] + S_k \quad (5)$$

- Kekelalan Energi

$$\frac{\partial(\epsilon\rho C_p T)}{\partial t} + \nabla \cdot (\epsilon\rho C_p T\vec{V}) = \nabla \cdot (k\nabla T) + S_E \quad (6)$$

- Kekelalan Muatan Listrik

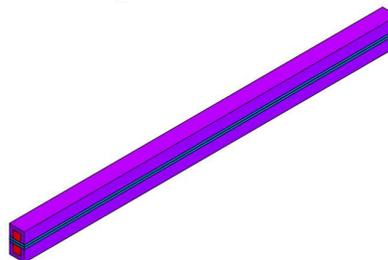
$$-\nabla \cdot (\sigma_e \nabla \Phi_e) = S_e \quad (7)$$

- Kekelalan Muatan Ionik

$$-\nabla \cdot (\sigma_i \nabla \Phi_i) = S_i \quad (8)$$

3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode simulasi CFD menggunakan *software* Ansys 2021 R2. Gambar 2 dan tabel 1 secara berturut menunjukkan geometri dan dimensi yang digunakan dalam melakukan penelitian ini.



Gambar 2. Geometri PEMFC

Tabel 1. Dimensi PEMFC

Panjang	:	48 mm
Lebar	:	2 mm
Tinggi Flow Channel	:	1 mm
Lebar Flow Channel	:	1 mm
Tinggi Bipolar Plate	:	1,5 mm
Tinggi Gas Diffusion Layer	:	0,25 mm
Tinggi Catalyst Layer	:	0,016 mm
Tinggi membran	:	0,025 mm

Penelitian ini akan dilakukan dengan memvariasikan tekanan anoda pada PEMFC sebesar 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; dan 3 bar pada pembebanan yang sama sebesar 1 A. Tabel 2 menunjukkan nilai parameter fisik dan elektrokimia yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 2. Parameter Fisik dan Elektrokimia [4]. [9]

Parameter	Nilai	Satuan
Anode exchange coefficient	0,5	-
Cathode exchange coefficient	1	-
Anode concentration exponent	0,5	-
Cathode concentration exponent	1	-
Porositas GDL	0,78	-
Porositas catalyst layer	0,5	-
Membrane equivalent weight	1100	kg/mol
Rasio luas permukaan terhadap volume	62500	1/m

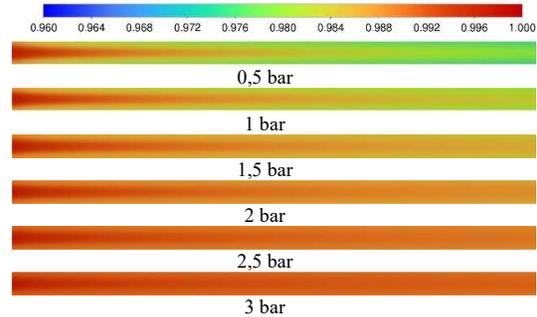
<i>catalyst layer</i> anode dan katode			
Fraksi mol <i>inlet</i> anode	Fraksi mol hidrogen (H ₂)	1	-
	Fraksi mol oksigen (O ₂)	0	-
	Fraksi mol air (H ₂ O)	0	-
	Fraksi mol nitrogen (N ₂)	0	-
Fraksi mol <i>inlet</i> katode	Fraksi mol hidrogen (H ₂)	0	-
	Fraksi mol oksigen (O ₂)	0,2075	-
	Fraksi mol air (H ₂ O)	0,0119	-
	Fraksi mol nitrogen (N ₂)	0,7806	-
Tekanan <i>outlet</i> katode (<i>gauge pressure</i>)	0	bar	
Laju massa <i>inlet</i> anode	$3,9175 \times 10^{-7}$	kg/s	
Laju massa <i>inlet</i> katode	$2,0728 \times 10^{-5}$	kg/s	
Temperatur <i>inlet</i> anode	300,15	K	
Temperatur <i>inlet</i> katode	300,15	K	

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Persebaran Hidrogen

Dari hasil pengujian maka didapatkan hasil bahwa pada MEA terjadi persebaran hidrogen yang lebih pada PEMFC dengan tekanan kerja anoda sebesar 3 bar. Hal ini dikarenakan sifat tekanan pada

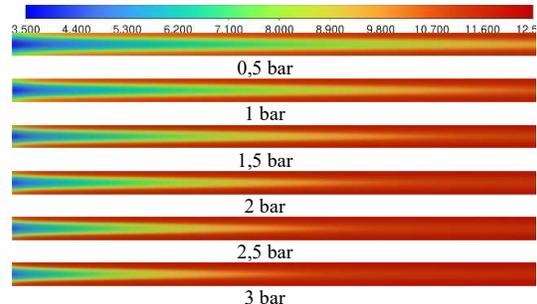
fluida menekan ke segala arah sehingga mengakibatkan hidrogen memiliki gaya yang lebih besar untuk dapat masuk ke MEA. Gambar 3 menunjukkan persebaran hidrogen pada MEA dengan tekanan anoda.



Gambar 3. Persebaran Hidrogen pada MEA

4.2. Kandungan Air Membran

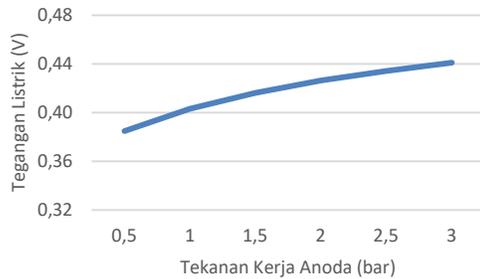
Air merupakan produk yang dihasilkan dari reaksi hidrogen dan oksigen. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pada tekanan kerja anoda yang lebih tinggi menghasilkan lebih banyak air pada katoda. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan tekanan kerja anoda mampu meningkatkan reaksi pada PEMFC sehingga mampu meningkatkan performa PEMFC tersebut. Gambar 4 menunjukkan kandungan air pada membran di sisi katoda pada masing-masing variasi tekanan. Pada gambar ditunjukkan bahwa pada tekanan yang lebih tinggi, maka air yang terbentuk akan semakin banyak pada awal masuk reaktan.



Gambar 4. Kontur Persebaran Air pada Membran

4.3. Tegangan Listrik Kerja PEMFC

Peningkatan persebaran hidrogen pada anoda mengakibatkan semakin besarnya reaksi yang terjadi pada PEMFC. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semakin besar tekanan kerja anoda maka akan semakin rendah nilai tegangan kerja dari PEMFC. Hal ini berarti pada tekanan kerja yang lebih tinggi, maka semakin kecil nilai *losses* yang dialami oleh PEMFC. Gambar 5 menunjukkan nilai tegangan kerja PEMFC pada masing-masing variasi tekanan kerja.



Gambar 5. Grafik Tegangan Kerja PEMFC

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh tekanan anoda pada performa PEMFC.

1. Tekanan kerja anoda yang semakin tinggi meningkatkan persebaran hidrogen pada MEA.
2. Tekanan kerja anoda yang semakin tinggi meningkatkan reaksi yang terjadi pada PEMFC yang ditunjukkan oleh peningkatan produksi air pada katoda.
3. Peningkatan persebaran hidrogen dan produksi air pada PEMFC mampu meningkatkan performa PEMFC yang ditandai dengan mengecilnya nilai losses pada PEMFC.

Daftar Pustaka

- [1] I. Veza, M. Z. Asy'ari, M. Idris, V. Epin, I. M. Rizwanul Fattah, and M. Spraggon, “*Electric vehicle (EV) and driving towards sustainability: Comparison between EV, HEV, PHEV, and ICE vehicles to achieve net zero emissions by 2050 from EV*,” Alexandria Engineering Journal, vol. 82, pp. 459–467, Nov. 2023, doi: 10.1016/j.aej.2023.10.020.
- [2] G. Di Piero, E. Bitsanis, A. Tansini, C. Bonato, G. Martini, and G. Fontaras, “*Fuel Cell Electric Vehicle Characterisation under Laboratory and In-use Operation*,” Energy Reports, vol. 11, pp. 611–623, Jun. 2024, doi: 10.1016/j.egyr.2023.12.013.
- [3] Z. Liu, L. Sun, W. Zhu, Y. Li, H. Pei, and L. Xing, “*Investigation of the current density's non-uniform distribution in dead-end PEMFC with multi-zone measurement methods*,” Energy Conversion and Management: X, vol. 20, Oct. 2023, doi: 10.1016/j.ecmx.2023.100478.
- [4] Y. Wei, L. Xu, Y. Li, and J. Tan, “*Better Electrochemical Performance of PEMFC with a Symmetrical Serpentine Flow Field Bipolar Plate*,” Int J Electrochem Sci, vol. 17, 2022, doi: 10.20964/2022.12.20.
- [5] G. Reza Molaeimanesh and F. Torabi, “*Fuel Cell Modeling and Simulation: From Microscale to Macroscale*,” 2023.
- [6] M. Sucipta et al., “*Proton Exchange Membrane Fuel Cell Using Membrane*

Electrode Assembly Based on Platinum-Carbon Electrocatalyst with Activated Carbon-Chitosan-Nickel,” 2023.

- [7] M. Ehsani, Y. Gao, S. E. Gay, and A. Emadi, “*Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design*.”
- [8] J. P. Kone, X. Zhang, Y. Yan, G. Hu, and G. Ahmadi, “*Three-dimensional multiphase flow computational fluid dynamics models for proton exchange membrane fuel cell: A theoretical development*,” Journal of Computational Multiphase Flows, vol. 9, no. 1, pp. 3–25, Mar. 2017, doi: 10.1177/1757482X17692341.
- [9] A. D'Adamo, M. Riccardi, M. Borghi, and S. Fontanesi, “*CFD modelling of a hydrogen/air PEM fuel cell with a serpentine gas distributor*,” Processes, vol. 9, no. 3, Mar. 2021, doi: 10.3390/pr9030564.



Leo Obed Dwikyra Sibarani menempuh studi S1 di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, pada tahun 2020, yang memiliki minat bidang ilmu *Computer Aided Design (CAD)*, *Computer Aided Manufacturing (CAM)*, dan *Computer Aided Engineering (CAE)*.

Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan *Computational Fluid Dynamics*.



Made Sucipta menyelesaikan studi S1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 1998, melanjutkan pendidikan S2 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan menyelesaikan studi pada tahun 2001, dan melanjutkan studi S3 di Shibaura Institute of Technology. Made Sucipta memiliki konsentrasi ilmu dalam teknologi hidrogen.



I Gede Putu Agus Suryawan menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana pada tahun 1994, S2 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2001, dan S3 di Universitas Udayana pada tahun 2020. I Gede Putu Agus Suryawan memiliki konsentrasi ilmu dalam bidang komposit.

KAJIAN SIMULASI COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS POLA ALIRAN AIR PADA TURBIN VORTEX DENGAN VARIASI TINGGI BASIN

Muhammad Aufa Aghniya, Made Suarda, I Gusti Ketut Sukadana
Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Turbin *vortex* memiliki keunggulan yaitu dengan memanfaatkan head rendah dan memiliki efisiensi cukup tinggi. Selain itu, turbin *vortex* merupakan salah satu contoh turbin yang memiliki perawatan yang mudah dan ramah untuk lingkungan. Pada penelitian ini difokuskan bagian dari turbin *vortex* yaitu tinggi basin untuk menghasilkan pola aliran dan performa yang optimal. Pola aliran yang dimaksud yaitu kontur kecepatan, kontur tekanan, vector kecepatan, dan *streamline*. Sedangkan performa yang dimaksud yaitu torsi, daya output, dan efisiensi. Variasi yang dipilih pada penelitian ini yaitu variasi tinggi basin, karena pada basin terjadi aliran *vortex* dan tinggi basin berpengaruh kecepatan aliran *vortex* yang terjadi. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pola aliran dan performa dari turbin *vortex* dengan melakukan variasi pada tinggi basin. Penelitian ini akan melakukan pengujian simulasi Computational Fluid Dynamic yaitu Ansys fluent.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa tinggi basin berpengaruh pada pola aliran dan performa dari turbin. Pada hasil simulasi tinggi basin 390mm memiliki nilai efisiensi tertinggi sebesar 10,72%. Sedangkan nilai efisiensi terendah terdapat pada tinggi basin 430mm dengan nilai efisiensi 8,1%. Untuk meningkatkan efisiensi dari turbin *vortex* ini dapat mempertimbangkan ketinggian basin dengan inlet dan outlet dari basin.

Kata kunci: Computational fluid dynamics, Turbin vortex, Tinggi basin, Pola aliran, Performa turbin

Abstract

Vortex turbines have the advantage of utilizing low head and have high efficiency. In addition, the *vortex* turbine is one example of a turbine that has easy maintenance and is friendly to the environment. In this research, the focus is on part of the *vortex* turbine, namely the basin height to produce optimal flow patterns and performance. The flow pattern in question is the speed contour, pressure contour, speed vector, and streamline. While the performance in question is torque, output power, and efficiency. The variation chosen in this study is the basin height variation, because in the basin *vortex* flow occurs and the basin height affects the speed of the *vortex* flow that occurs. The purpose of this research is to determine the flow pattern and performance of the *vortex* turbine by varying the basin height. This research will conduct Computational Fluid Dynamic simulation testing, namely Ansys fluent.

The simulation results show that the basin height affects the flow pattern and performance of the turbine. In the simulation results, the basin height of 390mm has the highest efficiency value of 10.72%. While the lowest efficiency value is found at a basin height of 430mm with an efficiency value of 8.1%. To increase the efficiency of this *vortex* turbine can consider the height of the basin with the inlet and outlet of the basin

Keywords: Computational Fluid Dynamic. Height of basin, Vortex turbine, Flow patterns, turbine performance

1. Pendahuluan

Potensi tenaga air di Indonesia secara teoritis diperkirakan sebesar 845.000 juta BOE, jumlah ini setara dengan 75,67GW dari jumlah ini yang dapat dimanfaatkan sebesar 6.851,00 GWh dengan kapasitas terpasang 4.200MW. Potensi ini tersebar di Kalimantan, Jawa, Sumatra, dan Bali. Tenaga air dalam skala besar ini baru dimanfaatkan 5,55% masih dalam kelompok tenaga air, terdapat juga tenaga air dalam skala kecil atau mini/micro hydro berpotensi sebesar 458,75MW dengan kapasitas terpasang 8,00MW.^[1]

Microhydro atau Picohidro biasanya dibuat dengan memanfaatkan air terjun yang memiliki head tinggi. Sedangkan aliran sungai dengan head rendah belum dimanfaatkan secara optimal. Oleh karena itu dibutuhkan suatu turbin yang memanfaatkan air dengan head yang rendah.^[2]

Pada jurnal yang ditulis oleh Sreerag (2016) telah diteliti bahwa perbandingan cekungan berbentuk kerucut dan cekungan berbentuk silinder pembangkit listrik lebih optimal pada cekungan berbentuk kerucut. Penggunaan basin berbentuk kerucut menciptakan peningkatan yang signifikan dalam kekuatan pusran. Pengujian turbin yang sama pada basin berbentuk kerucut dengan ukuran tinggi 800mm memberikan efisiensi maksimum sebesar 29,63%. Oleh karena itu, lebih baik menggunakan basin berbentuk kerucut daripada berbentuk silinder.^[3]

Dari penelitian itu menunjukkan bahwa tinggi basin berpengaruh terhadap performa turbin *vortex*, oleh karena itu penelitian ini akan menggunakan variasi kecepatan rotasi dengan menggunakan metode simulasi CFD Ansys Fluent.

Dalam hal ini maka ada beberapa permasalahan yang akan dikaji, yaitu:

1. Bagaimana pengaruh variasi rasio tinggi basin terhadap, kontur kecepatan, kontur tekanan, dan *streamline* yang terdapat pada turbin *vortex*?
2. Bagaimana pengaruh variasi tinggi basin terhadap performansi turbin *vortex* yang meliputi torsi, putaran, daya output, dan efisiensi ?

Beberapa batasan ditetapkan dalam penelitian ini meliputi:

1. Simulasi CFD menggunakan aliran satu fasa dengan fluidanya adalah *water-liquid* (H₂O).
2. Jumlah sudu *runner* turbin adalah 5 sudu.
3. Posisi *runner* sepertiga dari tinggi basin.
4. Penelitian ini mengabaikan *head loss*.
5. Debit aliran 10L/s.
6. Simulasi dilakukan pada kondisi *steady state*.

2. Dasar Teori

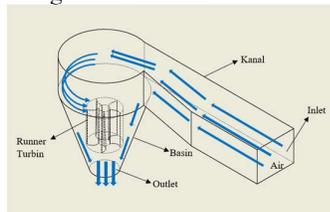
Skewness mesh metrics spectrum					
Excellent	Very good	Good	Acceptable	Bad	Unacceptable
0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.80	0.80-0.94	0.95-0.97	0.98-1.00

Orthogonal Quality mesh metrics spectrum					
Unacceptable	Bad	Acceptable	Good	Very good	Excellent
0-0.001	0.001-0.14	0.15-0.20	0.20-0.69	0.70-0.95	0.95-1.00

Meshing adalah proses membagi komponen yang akan dianalisis menjadi elemen-elemen kecil atau diskrit. Proses ini sangat penting dalam simulasi aliran fluida dan struktur, karena semakin baik kualitas mesh maka akan semakin tinggi tingkat akurasi hasil simulasi. Meshing dilakukan dengan membagi domain menjadi beberapa cell atau elemen kecil yang diskrit sehingga dapat diselesaikan persamaan-persamaan dalam simulasi. Kualitas mesh pada geometri dilihat dari nilai *skewness* dan *orthogonality*-nya. Masing masing geometri harus menghasilkan kualitas mesh yang baik dan masih di dalam batas yang diijinkan seperti ditunjukkan

3. Metode Penelitian

Skema penelitian yang ada paada penelitian ini dapat dilihat dari gambar berikut:



Adapun pengujian yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Simulasi turbin vortex tanpa runner
 - o Membuat geometri turbin vortex menggunakan Autodesk inventor professional 2018
 - o Melakukan pendefinisian model pada Design Modeler Ansys yang ditunjukkan pada gambar 3.4

- o Melakukan meshing menggunakan Fluent Meshing dengan tipe *Poly-Hexcore* ditunjukkan pada Tabel 3.1
- o Import mesh menggunakan tipe poly hexcore pada ansys fluent
- o Melakukan setup, dimana pada *general* untuk *gravitational acceleration* diisi 9.813m/s². Kemudian pada models menggunakan *SST k-omega* untuk turbulensinya. Lalu pada bagian metode memilih model turbulensinya *SST k-omega*. Pada bagian material, memasukan jenis fluida yang digunakan yaitu *water-liquid* (H₂O). Parameter *water-liquid* ditunjukkan pada Tabel 3.2
- o Menginput material *name water-liquid* pada bagian *cellzone condition*.
- o Pada bagian metode memilih scheme SIMPLE.
- o Pada *report definition* memilih data yang dibutuhkan yaitu kecepatan tangensial.
- o Menjalankan simulasi aliran turbin vortex pada Ansys Fluent.
- o Memvirifikasi hasil simulasi dengan nilai residual < 10⁻³
- o Melakukan *post processing* dan analisis data simulasi

2. Simulasi turbin vortex dengan runner

- Membuat geometri turbin vortex menggunakan Autodesk Inventor Professional 2018.
- Pendefinisain model pada Design Modeler Ansys seperti pada gambar 3.5.
- Meshing menggunakan tipe *poly-hexcore* pada geometri turbin vortex di Fluent 2023 R2. Parameter *meshing* ditunjukkan pada tabel 3.3.
- Memvirifikasi kualitas mesh *good* sesuai dengan kriteria mesh pada Tabel 2.1.
- Import mesh pada Ansys fluent.
- Setup, dimana pada *general* untuk *gravitational acceleration* di isi 9.813m/s². Kemudian pada models menggunakan *SST k-omega* untuk turbulensinya. Memasukkan jenis fluida yang digunakan yaitu *water-liquid* (H₂O).
- Setup di *cell zone conditions*, pada bagian domain berputar mengubah material menjadi *water-liquid*, menghidupkan *frame motion* dan memberikan nilai *rotational velocity*. Kemudian pada domain statik hanya mengubah material menjadi *water-liquid* seperti ditunjukkan pada gambar 3.6. dan gambar 3.7.
- Setup pada *boundary conditions* berupa *velocity inlet* dan *hydraulic diameter* pada inlet.

- Pada bagian metode memiliki *scheme* SIMPLE
- Pada *report definition* memilih data yang dibutuhkan yaitu torsi.
- Kalkulasi untuk simulasi pada turbin vortex.
- Memvirifikasi hasil simulasi dengan nilai residual $< 10^{-3}$

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Simulasi turbin vortex tanpa runner

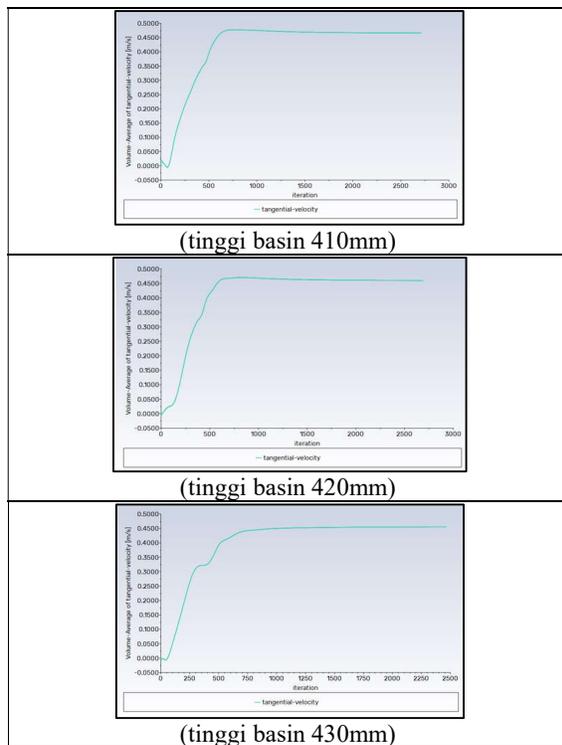
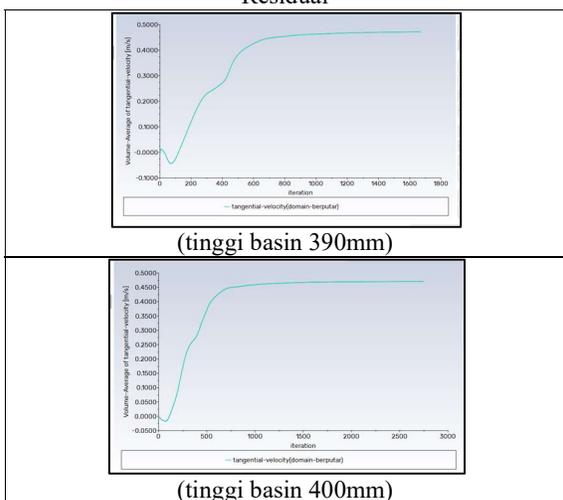
Kualitas mesh, residual, dan konvergensi dapat dilihat pada Tabel dan Gambar.

Tinggi basin	Maximum skewness	Minimum orthogonality	Jumlah Cells	Kualitas Mesh
390mm	0.76042462	0.20085347	437.983	Good
400mm	0.76225095	0.21197073	444.237	Good
410mm	0.76034944	0.20539701	466.706	Good
420mm	0.76105693	0.2033457	474.532	Good
430mm	0.75925836	0.2116930	490.872	Good

Meshing

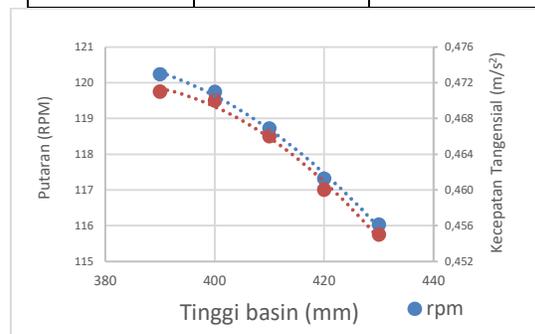
Tinggi basin (mm)	continuity	x-velocity	y-velocity	z-velocity	k	omega
390	$8.31 \cdot 10^{-8}$	$1.60 \cdot 10^{-6}$	$3.20 \cdot 10^{-7}$	$1.51 \cdot 10^{-6}$	9.98 10^{-6}	2.69 10^{-6}
400	$5.79 \cdot 10^{-8}$	$1.50 \cdot 10^{-7}$	$4.33 \cdot 10^{-8}$	$1.43 \cdot 10^{-7}$	9.95 10^{-7}	2.58 10^{-7}
410	$5.58 \cdot 10^{-8}$	$1.45 \cdot 10^{-7}$	$4.22 \cdot 10^{-8}$	$1.41 \cdot 10^{-7}$	9.97 10^{-7}	2.54 10^{-7}
420	$5.69 \cdot 10^{-8}$	$1.54 \cdot 10^{-7}$	$4.35 \cdot 10^{-8}$	$1.34 \cdot 10^{-7}$	9.96 10^{-7}	2.59 10^{-7}
430	$5.90 \cdot 10^{-8}$	$1.78 \cdot 10^{-7}$	$5.60 \cdot 10^{-8}$	$1.30 \cdot 10^{-7}$	9.97 10^{-7}	2.74 10^{-7}

Residual



Dari hasil simulasi turbin vortex tanpa runner didapatkan kecepatan tangensial yang dapat dikonversikan dengan persamaan ... menjadi putaran (rpm). Untuk Tabel berikut merupakan data kecepatan tangensial dan putaran.

Tinggi Basin (mm)	Kecepatan Tangensial (m/s)	PUTARAN (RPM)
390	0,471	120,23
400	0,470	119,74
410	0,466	118,,72
420	0,460	117,31
430	0,455	116,02



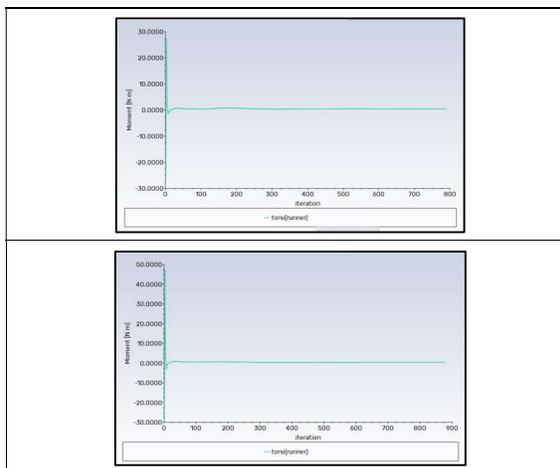
Pada Gambar 4.3 Terlihat grafik putaran dan kecepatan tangensial dengan *trend* yang menurun. Menurunnya *trend* ini disebabkan oleh ketinggian basin yang didalamnya terdapat banyak aliran

separasi yang membuat kecepatan dan putaran menurun. Aliran separasi menyebabkan aliran *vortex* tidak terjadi sempurna yang menyebabkan *runner* dari turbin *vortex* tidak berputar secara maksimal. Tidak berputarnya *runner* akan membuat kecepatan tangensial dari turbin *vortex* ini menurun.

4.2. simulasi turbin vortex dengan runner

Tinggi Basin	Maximum skewness	Minimum orthogonality	Jumlah Cells	Kualitas Mesh
390mm	0.76042462	0.20002046	813.944	Good
400mm	0.76225095	0.20000653	826.204	Good
410mm	0.76034944	0.20000449	811.852	Good
420mm	0.76105693	0.20000345	820.259	Good
430mm	0.75927463	0.20001352	822.835	Good

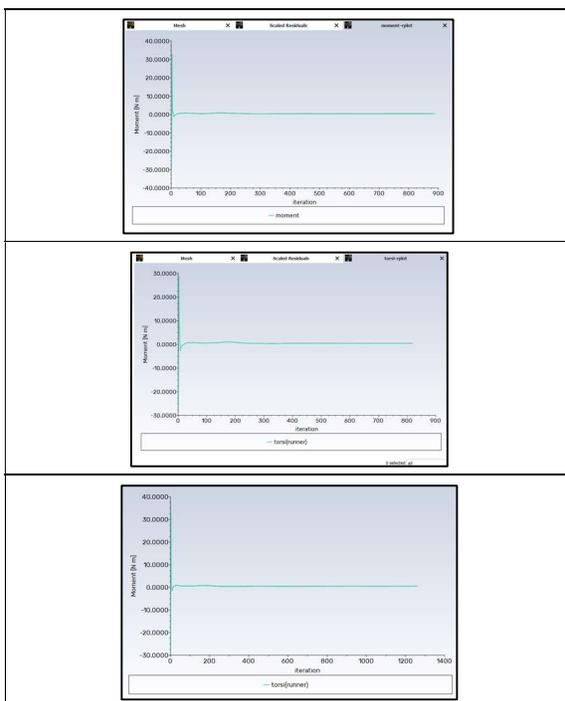
Tinggi basin (mm)	continuity	x-velocity	y-velocity	z-velocity	k	omega
390	$1.10 \cdot 10^{-5}$	$1.96 \cdot 10^{-4}$	$1.79 \cdot 10^{-4}$	$1.85 \cdot 10^{-4}$	$9.98 \cdot 10^{-4}$	$5.47 \cdot 10^{-4}$
400	$1.14 \cdot 10^{-5}$	$1.99 \cdot 10^{-4}$	$1.95 \cdot 10^{-4}$	$1.93 \cdot 10^{-4}$	$9.96 \cdot 10^{-4}$	$6.12 \cdot 10^{-4}$
410	$8.87 \cdot 10^{-6}$	$1.60 \cdot 10^{-4}$	$1.39 \cdot 10^{-4}$	$1.42 \cdot 10^{-4}$	$8.76 \cdot 10^{-4}$	$9.76 \cdot 10^{-4}$
420	$8.43 \cdot 10^{-6}$	$1.94 \cdot 10^{-4}$	$1.73 \cdot 10^{-4}$	$1.98 \cdot 10^{-4}$	$9.95 \cdot 10^{-4}$	$4.84 \cdot 10^{-4}$
430	$1.00 \cdot 10^{-5}$	$1.86 \cdot 10^{-4}$	$1.79 \cdot 10^{-4}$	$1.92 \cdot 10^{-4}$	$9.96 \cdot 10^{-4}$	$5.39 \cdot 10^{-4}$



4.3 Performa turbin vortex

Pada penelitian ini menggunakan performa sebagai salah satu rumusan masalah. Performa yang ada pada penelitian ini diantaranya yaitu torsi, daya input, daya output, dan efisiensi. Berikut tabel performa dari turbin vortex dengan runner.

Tinggi Basin (mm)	Nilai Torsi (Nm)
390	0,49466848
400	0,47702587
410	0,46460468
420	0,44551039
430	0,41263318



Tinggi Basin (mm)	Torsi (N.m)	Nilai Daya Input (watt)
390	0,49466848	57,820
400	0,47702587	58,800
410	0,46460468	59,780
420	0,44551039	60,760
430	0,41263318	61,740

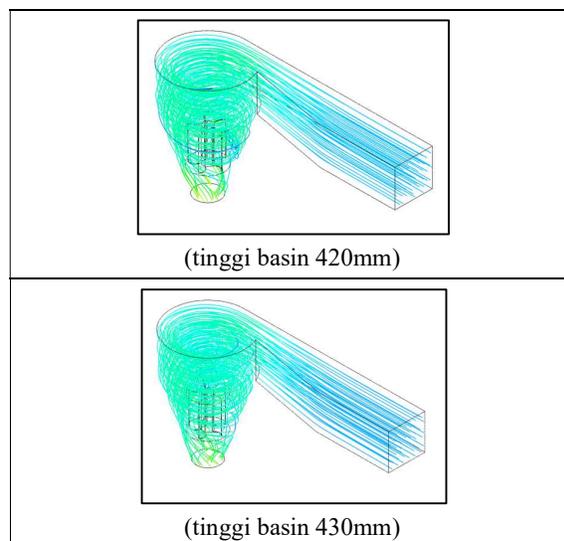
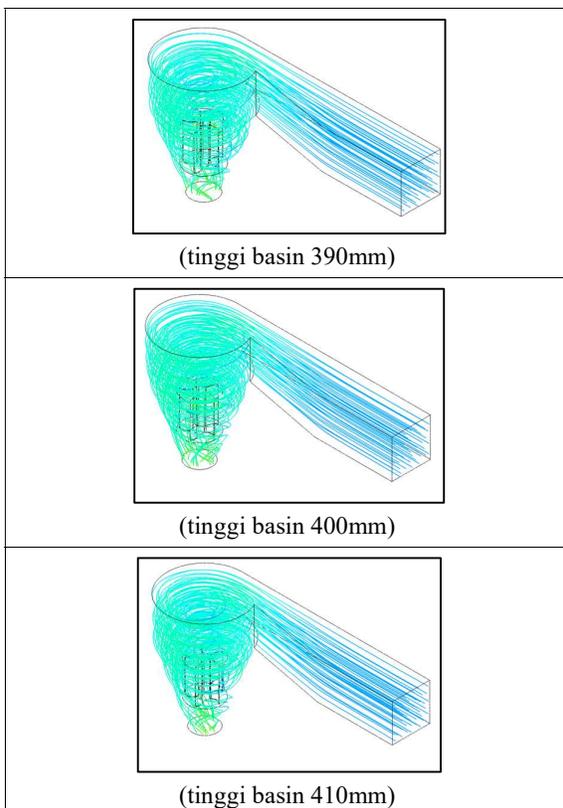
Tinggi Basin (mm)	Nilai Daya Output (Watt)
390	6,204
400	5,941
410	5,730
420	5,449

430	5,002
-----	-------

Tinggi Basin (mm)	Nilai Efisiensi (%)
390	10,72 %
400	10,10 %
410	9,58 %
420	9,10 %
430	8,10 %

4.4 Pola aliran turbin vortex

. Aliran fluida yang teratur ditunjukkan oleh *streamline* simulasi yang semakin rapat *streamline* pada seluruh area basin. Hal ini menandakan fluida membentuk aliran *vortex* yang baik dan dapat lebih optimal menabrak *runner*. Terlihat aliran paling optimal terjadi pada variasi tinggi basin 390mm. Hal itu ditandakan dengan tingginya kecepatan aliran sehingga efisiensi dari turbin *vortex* memiliki nilai yang paling tinggi diantara variasi yang lain yaitu senilai 10,72%.



5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian simulasi CFD turbin *vortex* variasi tinggi basin 390mm, 400mm, 410mm, 420mm, dan 430mm maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut

1. Nilai kecepatan dan nilai tekanan memiliki nilai yang terbalik dimana kontur kecepatan meningkat seiring meningkatnya tinggi basin sedangkan kontur tekanan mengalami penurunan.
2. Nilai efisiensi tertinggi terdapat pada turbin *vortex* dengan variasi tinggi basin 390mm dan nilai efisiensi 10,72 %. Sedangkan untuk torsi tertinggi terdapat pada variasi tinggi basin 390mm dengan nilai torsi 0,494Nm.

Daftar Pustaka

- Imam Agung, A. (2013). Potensi Sumber Energi Alternatif Dalam Mendukung Kelistrikan Nasional.
- Gusti Muttaqin, I., Sucipta, M., & Suarda, M. (2022). Simulasi Computational Fluid Dynamic Pada Model Turbin *Vortex* Variasi Kecepatan Rotasi Runner. *SIBATIK JOURNAL: Jurnal Ilmiah Bidang Sosial, Ekonomi, Budaya, Teknologi, Dan Pendidikan*, 1(8), 1445–1454.
- Sreerag. (2016). Effect of Outlet Diameter on the Performance of Gravitational Vortex Turbine with Conical Basin.



Muhammad Afa Aghniya
menyelesaikan program sarjana di
Program Studi Teknik Mesin
Universitas Udayana pada tahun
2024.

Judul tugas akhir Kajian Simulasi Computational Fluid
Dynamics Pola Aliran Air Pada Turbin Vortex Dengan
Variasi Tinggi Basin

PENGARUH FRAKSI VOLUME PADA *GREEN COMPOSITE* SERAT BAMBUR DENGAN Matriks Sari Pati Kentang TERHADAP PENYERAPAN SUARA DAN POROSITAS

Ferdy Gilang Pratama, Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati, Dewa Ngakan Ketut Putra Negara

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, Bali

Abstrak

Penelitian ini membahas tentang pengaruh fraksi volume pada green composite serat bambu dengan matriks sari pati kentang terhadap penyerapan suara dan porositas. Bahan Green Composite yang digunakan adalah serat bambu sebagai penguat dan sari pati kentang sebagai matriksnya. Tabung Impedansi dan Pengujian porositas merupakan metode penelitian yang digunakan sesuai dengan ASTM (American Standard Testing Material). Data yang diperoleh diuji menggunakan tabung impedansi dilengkapi software audacity dan NCH Tone generator dengan frekuensi input 400 Hz - 4000 Hz. Hasil penelitian menunjukkan adanya pengaruh fraksi volume serat bambu terhadap porositas spesimen, namun tidak signifikan terhadap kemampuan penyerapan suara. Nilai koefisien serap suara tertinggi didapat pada frekuensi 400 Hz yaitu 0,65 dimana setara dengan 4,55 dB Sound Reduction Index (ISO 140-3). Spesimen dengan fraksi volume 10% serat memiliki porositas tertinggi pada nilai 25,39%. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi untuk mengurangi kebisingan.

Kata kunci : Green Composite, Serat Bambu, Sari Pati Kentang, Pengujian Akustik, Porositas, Fraksi Volume Serat, Tabung Impedansi, Penyerap Suara

Abstract

This research discusses the effect of volume fraction in green bamboo fiber composite with a matrix of potato starch on sound absorption and porosity. The Green Composite materials used are bamboo fiber as reinforcement and potato starch as the matrix. Tube impedance and porosity testing are research methods used in accordance with ASTM (American Standard Testing Material). The data obtained was tested using an impedance tube equipped with Audacity software and an NCH Tone generator with an input frequency of 400 Hz - 4000 Hz. The research results showed that there was an influence of the volume fraction of bamboo fiber on the porosity of the specimen, but it was not significant on the sound absorption ability. The highest sound absorption coefficient value was obtained at a of 400 Hz frequency of 0.65, which is equivalent to 4.55 dB Sound Reduction Index (ISO 140-3). The specimens with a 10% fiber volume fraction have the highest porosity at 25.39%. This research is expected to provide a solution to reducing noise.

Keywords : Green Composite, Bamboo Fiber, Potato Starch Extract, Acoustic Testing, Porosity, Fiber Volume Fraction, Tube Impedance, Sound Absorption

1. Pendahuluan

Dewasa ini, karena urbanisasi yang meningkat pesat, orang di seluruh dunia sering menghadapi masalah kesehatan serius yang disebabkan oleh polusi suara. Kepmen LH No 48. tahun 1996 juga menjelaskan bahwa kebisingan merupakan suara yang tidak diinginkan dari suatu usaha atau kegiatan dalam tingkat dan waktu tertentu yang dapat menimbulkan gangguan kesehatan manusia dan kenyamanan lingkungan. Salah satu sumber kebisingan yang banyak terjadi di Indonesia berasal dari sektor transportasi, mengingat jumlah kendaraan yang terus meningkat. Menurut data BPS (Badan Pusat Statistik) pada tahun 2021 jumlah kendaraan mencapai 141.992.573 unit bersumber dari Kepolisian Republik Indonesia dan data dari [1] rata rata tingkat kebisingan yang dihasilkan oleh satu unit kendaraan bermotor ialah 87,40 dB pada 2000 Rpm. Dengan tingginya tingkat kebisingan di lingkungan hidup upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi kebisingan tersebut ada tiga metode yaitu hambatan udara,

hambatan struktural, penyerapan suara. Sebagai media yang digunakan untuk mengurangi kebisingan pada penelitian ini adalah penyerapan suara sehingga dibutuhkan material yang baik dan murah dalam mengurangi kebisingan [2] salah satunya adalah green composite berpenguat serat alam.

Pengendalian kebisingan memanfaatkan material komposit berserat alam banyak digunakan, karena serat alam pada umumnya memiliki kemampuan menyerap suara khususnya dalam mengurangi kebisingan [3]. Namun, permasalahan muncul ketika komposit dengan matriks resin yang umumnya digunakan cenderung sulit terdegradasi secara alami, yang menimbulkan masalah lingkungan. Dengan memanfaatkan sari pati kentang, penelitian ini dilakukan untuk mengeksplorasi potensinya sebagai pengganti matriks resin dalam komposit.

Pemanfaatan *green composite* sangat beragam dan luas, karena material ini memiliki sifat-sifat yang menguntungkan, seperti keberlanjutan, kekuatan, ringan, dan kemampuan *biodegradable*. *Green*

composite adalah material komposit yang terbuat dari serat alami dan matriks atau pengisi yang bersifat ramah lingkungan. Material ini dipilih berdasarkan keberlanjutan dan penggunaan sumber daya terbarukan, sehingga menjadi alternatif yang lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan komposit berbasis bahan sintetis. Peran *green composite* dalam penyerapan suara adalah kemampuannya untuk mengurangi kebisingan yang terjadi dengan memanfaatkan bahan alaminya, penyerapan suara komposit memiliki hubungan erat dengan porositas yang terdapat pada matriks sari pati kentang semakin tinggi porositas suatu bahan maka semakin baik kemampuannya dalam menyerap suara. Bahan dengan porositas tinggi memiliki struktur berpori yang memungkinkan gelombang suara masuk ke dalam bahan pori tersebut [4].

Bambu merupakan salah satu serat alam yang melimpah di Indonesia dan bambu merupakan jenis material penyerap suara yang *biodegradable* dan ramah lingkungan [5]. Serat bambu sering dikenal sebagai serat kaca alami karena kekuatannya yang tinggi dengan massanya yang ringan. Bambu memiliki kekuatan tarik yang tinggi yaitu mencapai 370 MPa. Pada komposit juga membutuhkan matriks sebagai bahan utamanya dimana matriks yang akan dipakai dalam penelitian ini adalah sari pati kentang. Sari Pati kentang dipilih sebagai matriks dengan komposisi terbesar pada komposit dikarenakan sari pati kentang memiliki karakteristik mudah terdegradasi dimana kandungan pati yang dimiliki oleh kentang adalah 22-28% [6] serta dapat berpotensi besar sebagai pengganti bahan kimia yang berbahaya bagi lingkungan.

Fraksi volume adalah perbandingan volume suatu komponen atau komposisi dalam campuran, dalam penelitian ini digunakan campuran 5%; 7,5%; 10% bahan penguat. Dengan menggunakan fraksi volume tersebut membuat kekuatan dari *green composite* menjadi lebih optimal.

Dengan mencari pengaruh fraksi volume dari serat diharapkan agar mendapatkan komposisi terbaik dari kombinasi pati kentang dan serat bambu yang akan menyerap suara dengan baik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengatasi masalah lingkungan yang disebabkan oleh penggunaan komposit dengan matriks resin yang sulit terdegradasi.

2. Landasan Teori

2.1 Komposit

Komposit pada umumnya adalah dua atau lebih komponen yang disatukan oleh bahan matriks dan penguat, matriks memiliki sifat yang berbeda dengan komponen penyusunnya. Komponen yang dimaksud disini dapat berupa bahan serat sintetis maupun bahan serat alam. Penguat dapat berupa serat, partikel, serpihan dan sejenisnya. Perpaduan bahan-bahan tersebut menghasilkan bahan yang lebih baik dari bahan penyusunnya yaitu kombinasi matriks dan penguat. Fungsi utama komposit yang diperkuat serat adalah untuk mentransfer ketegangan antar serat,

memberikan ketahanan terhadap kondisi lingkungan yang merugikan, dan melindungi permukaan serat dari pengaruh mekanis dan kimiawi [7].

2.2 Green Composite

Green composite merupakan jenis material komposit yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Mereka biasanya terbuat dari serat alami, seperti serat bambu, dikombinasikan dengan matriks *biodegradable* seperti sari pati kentang. *Green composite* dirancang untuk memiliki dampak lingkungan yang lebih rendah dibandingkan dengan bahan komposit tradisional, karena menggunakan sumber daya terbarukan dan komponen *biodegradable* [8].

2.3 Sari Pati Kentang

Sari pati kentang adalah hasil ekstraksi dari kentang yang melalui proses penghancuran hingga pati terpisah dari seratnya menjadi butiran. Sari pati kentang sering digunakan dalam olahan produk bahan pangan hingga industri non pangan.

Karakteristik sari pati kentang mudah terdegradasi dikarenakan kandungan pati yang dimiliki oleh kentang adalah mencapai 22 hingga 28% [6]. Kandungan pati yang tinggi sangat baik digunakan dalam penyerapan suara, dikarenakan pati dapat mengubah energi suara menjadi energi panas. Hal ini menyebabkan sari pati kentang baik digunakan dalam proses penyerapan suara.

2.4 Serat Bambu

Serat Serat bambu adalah serat yang diperoleh dari tanaman bambu yang memiliki serabut-serabut sejajar pada batangnya. Bambu memiliki potensi tinggi sebagai bahan baku pengganti *fiber glass*. Karena massanya yang ringan dan kekuatan tariknya yang tinggi, serat bambu sering disebut sebagai serat kaca alami. Kekuatan tarik bambu mencapai 370 Mpa sangat tinggi dibandingkan massanya dengan harga yang relatif ekonomis.

Serat bambu memiliki sifat akustik yang baik dibandingkan dengan serat lainnya karena serat bambu memiliki struktur dan bentuk yang unik, densitas yang rendah sehingga dapat membentuk rongga (porositas).

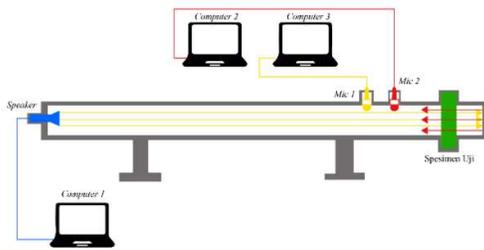
2.5 Uji Serap Suara

Uji serap suara bertujuan untuk mengetahui efektivitas material komposit dalam penyerapan suara. Penelitian ini menguji penyerapan suara dari *green composite* yang terdiri dari dua komponen yaitu sari pati kentang sebagai matriks dan serat bambu sebagai penguatnya dengan menggunakan metode tabung impedansi yang sesuai ASTM E 1050-98.

2.6 Tabung Impedansi

Tabung impedansi adalah alat sekaligus metode yang digunakan untuk menentukan koefisien serap suara, refleksi, dan transmisi suara. Cara kerja

alat ini adalah dengan mengirimkan suara yang dihasilkan melalui generator, kemudian disalurkan ke *loudspeaker* dan disalurkan melalui tabung menuju sampel. Saat suara bertemu dengan sampel, tidak semua getaran akan diserap, sebagian akan dipantulkan, dan suara akan diterima oleh mikrofon di dalam tabung. Refleksi yang terekam akan diteruskan ke perangkat lunak yang mengelola gelombang bunyi, untuk dilihat dalam bentuk data, dan dilihat koefisien serapannya [9].



Gambar 1. Skematik Uji Serap Suara

2.7 Koefisien Serap Suara

Efisiensi penyerapan bunyi suatu bahan pada suatu frekuensi tertentu yang dinyatakan dengan suatu koefisien penyerapan bunyi (*coefficient of sound absorption*). Perbandingan antara energi suara yang diserap oleh suatu bahan dengan energi suara yang datang pada permukaan bahan tersebut disebut sebagai koefisien serap suara (absorpsi) (α). Koefisien serap suara memiliki nilai diantara 0-1. Nilai koefisien absorpsi 0 menyatakan material tidak menyerap bunyi dan nilai koefisien serapan 1 menyatakan material menyerap bunyi dengan sempurna [10].

Koefisien serap suara suatu bahan dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara energi suara yang diserap oleh bahan dengan energi suara yang datang ke arah bahan, atau :

$$\alpha = \left[\frac{w_i}{w_b} \right] \quad (1)$$

Keterangan :

- α = Koefisien Serap Suara
- w_i = Energi Suara yang diserap (J)
- w_b = Energi Suara yang datang (J)

Persamaan antara koefisien serap suara (α) dan desibel dapat digunakan perhitungan yang sesuai dengan ISO 140-3, sebagai berikut:

$$SRI = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{1}{1-\alpha} \right) \quad (2)$$

Keterangan :

- SRI = Sound Reduction Index (dB)
- α = Koefisien Serap Suara

2.8 Uji Porositas

Penelitian ini menguji porositas material *green composite* yang akan diuji menurut ASTM D 570-98. Penyerapan suara komposit memiliki hubungan yang erat dengan porositas yang terdapat pada matriks pati

kentang yang dilambangkan ϕ (phi) yaitu rasio volume pori terhadap volume material, semakin tinggi porositas suatu bahan maka semakin baik kemampuannya dalam menyerap suara. Bahan dengan porositas tinggi memiliki struktur berpori yang memungkinkan gelombang suara melewati bahan pori [4]. Untuk menghitung porositas ini dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\phi = \frac{W_b - W_k}{W_k} \times 100 \quad (3)$$

Keterangan :

- ϕ = Porositas (%)
- W_b = Massa spesimen basah (gr)
- W_k = Massa spesimen kering (gr)

Uji porositas dilakukan dengan cara merendam spesimen di air dan melihat berapa besar pori-pori yang ada di spesimen. Biasanya, bahan yang memiliki pori akan memiliki daya serap energi suara lebih besar dibandingkan dengan bahan yang tidak memiliki pori, karena dengan adanya pori-pori gelombang suara dapat masuk kedalam bahan tersebut. Pengujian Porositas ini menggunakan ASTM D 570-98.

2.9 Gelombang Suara

Gelombang suara adalah gelombang yang ditimbulkan oleh benda yang bergetar. Contoh ilustrasi dari hal tersebut adalah senar gitar yang dipetik, maka gitar akan bergetar dan getaran ini merambat di udara, air, atau bahan lainnya. Satu-satunya tempat di mana suara tidak dapat merambat adalah ruang hampa. Gelombang suara ini memiliki lembah dan bukit, satu lembah dan satu bukit akan menghasilkan satu siklus atau periode (frekuensi).

2.10 Frekuensi

Frekuensi adalah jumlah siklus yang terjadi dalam satu detik. Satuan frekuensi adalah Hertz (Hz). Telinga manusia dapat mendengar suara antara 20 Hz hingga 20 KHz (20.000 Hz) dalam batas sinyal audio. Karena pada dasarnya sinyal audio merupakan sinyal yang dapat diterima oleh telinga manusia. Angka 20 Hz adalah frekuensi suara terendah yang dapat didengar, sedangkan 20 KHz adalah frekuensi tertinggi yang dapat didengar [11].

3. Metode Penelitian

Terdapat dua pengujian yang akan dilakukan yakni pengujian serap suara dan porositas. Pada penyerapan suara alat yang digunakan untuk menguji spesimen adalah tabung impedansi yang sesuai dengan ASTM E 1050-98, sedangkan untuk uji porositas hanya menggunakan media air sebagai pengujianya yang sesuai dengan ASTM D 570-98.

3.1 Proses Pembuatan Benda Uji

3.1.1 Proses Pembuatan Matriks Sari Pati Kentang

1. Menyiapkan alat-alat dan bahan yang akan digunakan.

2. Mengupas kulit kentang kemudian kentang dihaluskan menggunakan alat *blender* hingga halus.
3. Kentang yang sudah halus selanjutnya dimasukkan kedalam gelas *beaker*, lalu dalam gelas *beaker* ditambahkan sedikit air dan dilarutkan guna mempermudah proses ekstraksi.
4. Kemudian ekstrak kentang untuk mendapatkan sari patinya, dengan cara disaring kedalam sebuah wadah untuk mencari filtratnya. Filtrat yang dihasilkan merupakan campuran air, pati dan beberapa senyawa organik lainnya.
5. Filtrat kemudian dipindahkan kedalam gelas beaker 500 ml dan dibiarkan beberapa saat hingga pati mengendap.
6. Setelah pati mengendap, cairan yang tersisa dibuang sehingga pati yang dihasilkan dapat digunakan.
7. Kemudian masukkan 40 mL aquades ke dalam gelas *beaker* yang berisikan sari pati kentang sebanyak 52 gram.
8. Terakhir masukkan 0,64 gram gliserin dan 1,02 gram hardener.
9. Campuran yang terbentuk kemudian diaduk dan mulai dipanaskan, setelah beberapa saat cairan yang awalnya cair berubah menjadi gel

dengan serat bambu yaitu (95% : 5%, 92,5% : 7,5%, 90% : 10%).

Tabel 1. Komposisi Matriks dan Serat

Perbandingan Massa Matriks dengan Serat (%)	Matriks (gr)	Serat (gr)
95 : 5	94,71	1,72
92,5 : 7,5	92,21	2,95
90 : 10	89,72	3,45

3.1.2 Proses Pembuatan *green composite*

1. Menyiapkan serat bambu.



Gambar 2. Serat Bambu

2. Serat bambu kemudian diuraikan untuk memudahkan proses pemotongan.
3. Potong serat bambu menjadi ± 1 cm.



Gambar 3. Serat Bambu ± 1 cm

4. Campurkan serat bambu dengan matriks yang telah menjadi gel kedalam cetakan dengan menggunakan metode *open mold*. dengan perbandingan variasi matriks sari pati kentang

5. Setelah tercampur cetakan diberikan tekanan 250 gram agar spesimen terbentuk secara merata pada cetakan.
6. Biarkan spesimen didalam cetakan dan didiamkan pada suhu ruang selama 14 hari.
7. Menimbang spesimen setiap 2 atau 3 hari untuk melihat massa dari spesimen apakah sudah tidak berkurang lagi. Apabila sudah tidak berkurang maka spesimen sudah kering.
8. Setelah spesimen kering, lepaskan komposit dari cetakan.
9. Potong dan haluskan spesimen sesuai bentuk ASTM yang telah ditentukan.



Gambar 4. Spesimen Serap Suara



Gambar 5. Spesimen Porositas

10. Spesimen siap diuji

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Data Hasil Penelitian Uji Serap Suara

Berikut data uji serap suara *green composite* serat bambu dalam bentuk tabel seperti yang terlihat pada Tabel 2:

Tabel 2. Tabel Data Penelitian Uji Serap Suara

No.	Frekuensi (Hz)	5% Serat	7,5% Serat	10% Serat
		α	α	α
1	400	0,60	0,65	0,54
2	800	0,50	0,58	0,51
3	1200	0,34	0,32	0,35
4	1600	0,35	0,37	0,35
5	2000	0,50	0,40	0,38
6	2400	0,41	0,39	0,40
7	2800	0,31	0,35	0,44
8	3200	0,48	0,41	0,44
9	3600	0,35	0,40	0,44
10	4000	0,13	0,26	0,24
Rata-rata		0,39	0,41	0,41

Berikut data uji serap suara *green composite* serat bambu dalam grafik pada gambar 6 :



Gambar 6. Grafik Data Pengujian Serap Suara

Dari gambar 6 dapat disimpulkan fenomena yang terjadi pada grafik hubungan frekuensi dan α pada setiap fraksi volume bahwa pengaruh komposisi serat pada spesimen tidak memiliki dampak signifikan terhadap kemampuan spesimen dalam penyerapan suara, terbukti pada grafik diatas spesimen dengan fraksi volume serat 7,5% memiliki penyerapan suara lebih baik apabila dibandingkan dengan 5% dan 10%.

Pada pengujian serap suara, spesimen dengan fraksi volume serat 7,5% memiliki rata-rata tingkat penyerapan suara paling tinggi, tepatnya pada frekuensi paling kecil pada uji kali ini yaitu 400 Hz dengan α sebesar 0,65 dimana setara dengan 4,55 dB *Sound Reduction Index* (ISO 140-3). Sedangkan spesimen uji dengan rata-rata tingkat penyerapan suara paling rendah yaitu spesimen dengan volume serat 5% pada frekuensi 4000 Hz. Hasil ini memenuhi standar akustik ISO 11654 yang menyebutkan bahwa penyerapan dari sampel yang dibuat dikategorikan sebagai penyerap suara yang baik ketika nilai $\alpha > 0,15$ (ISO, 1997).

Kemampuan spesimen yang baik dalam menyerap suara pada frekuensi rendah dikarenakan jenis material yang digunakan adalah material penyerap *resonant*. Bahan spesimen tersebut memiliki kemiripan seperti panel kayu yang bahannya terbuat dari alam, dimana mampu menyerap energi suara dengan cara mengubah energi suara yang datang menjadi getaran, yang kemudian diubah menjadi energi gesek oleh material berpori yang ada di dalamnya misal oleh udara, atau material berpori [5].

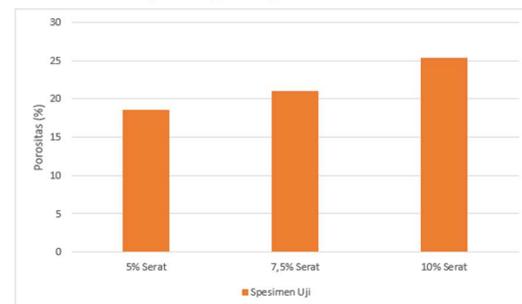
4.2 Hasil Uji Porositas

Berikut nilai uji Porositas *green composite* serat bambu dalam bentuk grafik seperti yang terlihat pada Tabel 3 :

Tabel 3. Tabel Data Penelitian Uji Porositas

No.	Komposisi (%)	Spesimen	Wb (gr)	Wk (gr)	Porositas (%)
1	95 Matriks : 5 Serat	1	42,86	35,40	21,07
		2	41,60	36,25	14,76
		3	42,54	35,45	20,00
		Rata-rata			18,58
2	92,5 Matriks : 7,5 Serat	1	43,76	35,80	22,23
		2	42,90	35,60	20,51
		3	43,50	36,10	20,50
		Rata-rata			21,08
3	90 Matriks : 10 Serat	1	43,74	34,35	27,34
		2	42,10	33,90	24,19
		3	43,00	34,50	24,64
		Rata-rata			25,39

Berikut data uji porositas *green composite* serat bambu dalam grafik pada gambar 7 :



Gambar 7. Grafik Data Porositas

Pada gambar diatas terlihat terlihat bahwa, porositas pada spesimen dengan fraksi 10% serat memiliki nilai tertinggi apabila dibandingkan dengan yang lainnya yakni sebesar 25,39%. Hal ini disebabkan semakin besarnya fraksi volume serat pada spesimen yang membuat porositas menjadi lebih besar. Menurut [12] penambahan fraksi volume serat dalam komposit meningkatkan nilai porositas dari komposit karena *interface* antara serat dan matriks semakin kurang rapat. Sebaliknya nilai terendah yang didapat yaitu pada fraksi volume 5% sebesar 18,58%.

Hubungan antara porositas dengan serap suara sangat erat sehingga dapat disimpulkan, semakin tinggi porositas suatu bahan maka semakin baik kemampuannya dalam menyerap suara [4]. Penambahan serat pada spesimen memiliki dampak positif bagi penyerapan suara seperti kestabilan dalam penyerapan suara.

5. Penutup

5.1 Simpulan

Berdasarkan data hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai pengaruh dari fraksi volume *green composite* serat bambu dengan matriks sari pati kentang terhadap kemampuan penyerapan suara dan porositas dapat ditarik kesimpulan :

1. Pengaruh variasi fraksi volume serat bambu pada spesimen menunjukkan tidak adanya perubahan yang signifikan apabila dibandingkan dengan variasi spesimen uji lainnya terhadap kemampuan penyerapan suara. Grafik pada setiap frekuensi cenderung fluktuatif, mengalami penurunan drastis pada frekuensi 1200 Hz dan 4000 Hz. Kemampuan menyerap suara terbaik terdapat pada frekuensi 400 Hz pada setiap variasi fraksi volumenya.
2. Pengaruh variasi fraksi volume serat bambu pada spesimen menunjukkan adanya pengaruh terhadap porositas dari spesimen, dibuktikan dengan adanya peningkatan secara konsisten terhadap porositas spesimen yaitu 18,58%, 21,08%, dan 25,39% secara berurutan. Spesimen dengan fraksi volume 10% Memiliki nilai porositas tertinggi dibandingkan dengan spesimen lainnya.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang dipaparkan diatas, saran yang dapat peneliti berikan berdasarkan pengalaman selama masa penelitian sedang berlangsung sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai bahan penyerap yang mempunyai sifat berpori.
2. Memvariasikan panjang serat pada komposisi *green composite* agar dapat menghasilkan penyerapan suara yang lebih baik dan stabil.
3. Meningkatkan ketelitian dan kepresisian spesimen sehingga menghasilkan spesimen yang mampu menyerap bunyi dengan baik.

Daftar Pustaka

- [1] Anshari, M. H., Artika, K. D., & Kuswoyo, A. (2018). Analisa Pengukuran Tingkat Kebisingan Sepeda Motor Berdasarkan Rpm Dan Jumlah Kendaraan. *Jurnal Elemen*, 5(1), 07.
- [2] Kaharuddin, & Kusumawanto, A. (2011). Rekayasa Material Akustik Ruang Dalam Desain Bangunan. *Forum Teknik*, 34(1), 9. 2
- [3] Eriningsih, R., Widodo, M., & Marlina, R. (2014). Pembuatan Dan Karakterisasi Peredam Suara Dari Bahan Baku Serat Alam. *Arena Tekstil*, 29(1), 1–8.

- [4] Cao, L., Fu, Q., Si, Y., Ding, B., & Yu, J. (2018). Porous materials for sound absorption. In *Composites Communications* (Vol. 10, hal. 25–35). Elsevier Ltd.
- [5] Pambudi, A. (2017). Proses manufaktur komposit berpenguat serat bambu betung (*dendrocalamus asper*) dan matriks unsaturated polyester dengan metode hand lay-up untuk aplikasi otomotif. 102.
- [6] Sunarti, T. C., Nunome, T., Yoshio, N., & Hisamatsu, M. (2001). Study on Outer Chains Released from Amylopectin between Immobilized and Free Debranching Enzymes. *Journal of Applied Glycoscience*, 48(1), 1–10.
- [7] Ngo, T.-D. (2020). Introduction to Composite Materials. *Composite and Nanocomposite Materials - From Knowledge to Industrial Applications*.
- [8] Gliscinska, E., De Amezaga, J. P., Michalak, M., & Krucinska, I. (2021). Green sound-absorbing composite materials of various structure and profiling. *Coatings*, 11(4), 1–20.
- [9] Doelle. (1986). *Akustik Lingkungan*. Erlangga.
- [10] Prakoso, A. E., Farachniamala, A., Andayani, P., Effendi, O. M., Yuniarto, M., & Sabrina, M. (2017). Pembuatan Alat Impedance Tube dan Simulasi Pengukuran Koefisien Serap Menggunakan Software MATLAB R2013A. *Positron*, 7(1), 8–11.
- [11] Wahyudi, S. T., & Rahayu, Y. (2015). Aplikasi Spectrum Analyzer Untuk Menganalisa Frekuensi Sinyal Audio Menggunakan Matlab. *Jom FTEKNIK*, 2(2), 1.
- [12] Sari, N. H., Fajrin, J., & Yudhyadi, I. G. N. K. (2018). Studi eksperimental terhadap porositas dan hambat alir udara pada komposit penyerap suara. *Dinamika Teknik Mesin*, 8(1), 35.



Analisa Kemampuan Tekuk Komposit Resin Polyester Berpenguat Berbahan Limbah Kain Konveksi

I Ketut Aris Dinata, Ngakan Putu Gede Suardana, Cok Istri Putri Kusuma
Kencanawati

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit, Jimbaran Bali

Abstrak

Limbah kain menjadi permasalahan umum untuk lingkungan pada masa ini, kebutuhan masyarakat akan produk kain terus meningkat setiap tahunnya membuat produksi semakin meningkat, kain yang terbuat dari serat katun yang telah dicampur dengan zat kimia untuk menghasilkan warna dan karakteristik yang sesuai dengan yang diinginkan membuat kain dapat menyebabkan pencemaran bagi lingkungan. Salah satu cara untuk memanfaatkannya dengan mendaur ulang menjadi komposit yang dapat digunakan untuk berbagai macam hal. Penelitian ini menggunakan variasi fraksi kain 0%, 10%, 20%, 30% dengan fraksi volume kain. Pengujian bending dilakukan dengan menggunakan ASTM D790-17, dan uji foto makro. Data hasil uji bending diperoleh bahwa penambahan kain mengurangi tegangan bending dan modulus bending sampai pada titik tertentu, namun untuk regangan bending penambahan kain juga menghasilkan regangan bending yang lebih rendah jika dibandingkan variasi 0% namun meningkat seiring ditambahnya volume kain dimana untuk variasi 30% memperoleh regangan bending 22% lebih baik dibanding dengan variasi 0%. Untuk regangan bending tertinggi diperoleh pada variasi 30% dan yang terendah ada pada variasi 10%, kemudian untuk modulus bending diperoleh angka tertinggi pada variasi kain 10% dan yang terendah ada pada variasi 30%. Foto hasil uji makro dapat melihat morfologi dari material komposit terlihat bahwa semakin banyak kandungan limbah kain konveksi maka matriks kehilangan kemampuan untuk mengikat penguat yang mengakibatkan nilai kekuatan bending semakin menurun.

Kata Kunci: Composite, kain, Uji bending, resin polyester

Abstract

The waste of the fabric has become a common environmental issue in the present time, with the increasing demand for fabric products each year leading to a rise in production. Fabrics made from cotton fibers, blended with chemicals to obtain desired colors and characteristics, pose a threat to the environment by causing pollution. One way to address this is by recycling the fabric waste into composites that can be used for various purposes. This research utilizes fabric volume fractions of 0%, 10%, 20%, and 30% with fabric volume fractions. Bending tests were carried out using ASTM D790-17 and macro photo tests. The bending test data reveals that the addition of fabric reduces stress and elastic modulus up to a certain point. However for strain, the addition of fabric results in lower values compared to the 0% variation, but it increases with the addition of fabric volume. The 30% variation shows a 22% improvement in bending strain compared to the 0% variation. The highest strain is obtained in the 30% variation, and the lowest is in the 10% variation. As for the elastic modulus, the highest value is obtained in the 10% fabric variation, while the lowest is in the 30% variation. Macro photo test results provide insights into the morphology of the composite material, showing that an increased content of convection fabric waste causes the matrix to lose its ability to bind reinforcement, resulting in a decrease in bending strength values.

Keywords: Composite, fabric, bending test, polyester resin

1. Pendahuluan

Industri tekstil merupakan salah satu industri yang paling berkembang di Indonesia. Salah satu limbah yang dihasilkan oleh industri tersebut adalah limbah berbentuk padat seperti kain dan aksesoris yang digunakan pada pakaian [1]. Menurut data pada tahun 2021, komposisi sampah anorganik di

Indonesia mencapai angka 51,47%. Indonesia telah menghasilkan 2,3 juta ton limbah tekstil. Sampah pakaian dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan melalui berbagai jalur. Ini termasuk penggunaan pewarna cerah, sisa-sisa bahan kain yang berlimpah, dan emisi gas buang dari proses produksi yang mencemarkan udara.

Sebagai contoh, dalam industri fast fashion, zat pewarna yang digunakan seringkali memiliki resiko tinggi terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Pewarna tekstil ini, yang dijual dengan harga murah, dapat mengandung bahan kimia berbahaya. Limbah yang dihasilkan dari pewarna ini dapat menjadi ancaman terhadap lingkungan jika menumpuk di permukaan tanah dan mengalami pembusukan, menghasilkan gas metana yang merugikan. Ada beberapa cara pengolahan limbah limbah kain konveksi, salah satunya dijadikan sebagai komposit yang memiliki nilai guna, contohnya sebagai komposit. Namun ditinjau dari sifat mekanis masih sangat rendah, hal ini dipengaruhi salah satunya dari komposisi antara matriks dan penguat. Adapun penelitian tentang Kekuatan Tarik dan Lentur pada Material Komposit Berpenguat Serat Jelatang dimana pada penelitian ini kekuatan maksimum yang diperoleh adalah pada variasi fraksi volume 20% [2]. Adapun penelitian yang menggunakan penguat fiberglas yang dipotong dengan panjang serat 5mm dimana pada penelitian ini hasil tertinggi diperoleh oleh komposit dengan variasi fraksi volume 22% [3]. Oleh karena itu penulis melakukan pengujian terhadap tegangan bending dari komposit resin polyester berpenguat limbah kain konveksi dengan variasi fraksi volume kain dengan tujuan untuk mengetahui kemampuan tekuk yang dihasilkan dan untuk meningkatkan nilai ekonomis dari limbah kain.

Adapun batasan yang ditetapkan pada penelitian kali ini meliputi:

1. Penguat yang digunakan adalah limbah limbah kain konveksi jenis cotton combed 30s.
2. Pengikat (Matriks) yang digunakan adalah resin berjenis resin polyester Yukalac 157 BQTN-EX
3. Proses pengeringan dilakukan pada suhu ruang.
4. ASTM yang digunakan adalah ASTM D790-17
5. Tekanan pada alat press cetakan spesimen adalah 1000 Psi dan menggunakan tebal cetakan sebagai batas maksimal.
6. Suhu ruangan saat proses pengujian bending adalah 23°

2. Dasar Teori

2.1. Komposit

Komposit adalah material yang dibentuk dengan mengkombinasikan dua atau lebih material dengan sifat yang berbeda. Dari campuran tersebut

terbentuk material yang memiliki sifat yang berbeda dari material pembentuknya. Komposit merupakan sejumlah sistem multi fasa sifat dengan gabungan, yaitu gabungan antara bahan matriks atau pengikat dengan penguat [4].

2.2. Resin Polyester

Resin polyester tak jenuh (*unsaturated polyester*) atau sering disebut polyester merupakan matrik dari komposit. Resin ini termasuk juga dalam resin thermoset pada polimer thermoset resin cair diubah menjadi padatan yang keras dan getas yang terbentuk oleh ikatan silang kimiawi yang membentuk rantai polimer yang kuat.[5]

2.3. Limbah Kain Konveksi

Limbah kain konveksi di definisikan sebagai bahan yang dibuang atau tidak diinginkan yang terkait dengan industri tekstil. Ini mencakup berbagai bentuk limbah yang dihasilkan pada berbagai tahap produksi, konsumsi, dan pembuangan tekstil. Limbah tekstil dapat dikategorikan menjadi dua jenis utama: limbah pra-konsumen dan limbah pasca-konsumen.

2.4. Uji Bending

Pengujian *bending* merupakan salah satu pengujian yang digunakan untuk menghitung kekakuan suatu material, dengan rumus seperti berikut:

1. Tegangan Bending

$$\sigma_B = \frac{3PL}{2b.d^2}$$

2. Regangan Bending

$$\varepsilon_B = \frac{6\delta.d}{L^2}$$

3. Modulus bending

$$E_t = \frac{L^3.m}{4b.d^3}$$

2.5. Densitas Bahan

Pengukuran densitas material menggunakan metode archimedes untuk mengukur densitas material dalam bentuk padat yang diukur menggunakan timbangan digital, kemudian ditimbang dalam keadaan kering dan direndam dengan minyak tanah. Persamaan yang digunakan untuk menghitung massa jenis bahan dapat dilihat sebagai berikut:

$$\rho_s = \frac{m_u}{m_u - m_m} \times \rho_m \quad (2)$$

ρ_s = Densitas sampel (g/cm³)

m_u = Massa sampel kering (g)

m_m = Massa sampel saat direndam minyak tanah (g)

ρ_m = Densitas minyak tanah (0,83 g/cm³)

3. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental untuk mengetahui pengaruh dari variabel tertentu terhadap variabel lainnya. Pengujian dilakukan dengan cara mencacah kain yang kemudian dikumpulkan kemudian dicampurkan dengan resin yang telah dicampur dengan resin telah dicampur dengan katalis MEKPO kemudian di cetak dengan variasi fraksi volume kain 0%, 10%, 20%, 30% dan menggunakan cetakan dan di pres dengan alat pres dengan tekanan 1000 psi. Kemudian hasil cetakan yang sudah kering dipotong sesuai dengan ASTM 790-17.

3.1. Alat

Adapun alat dan bahan yang diperlukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

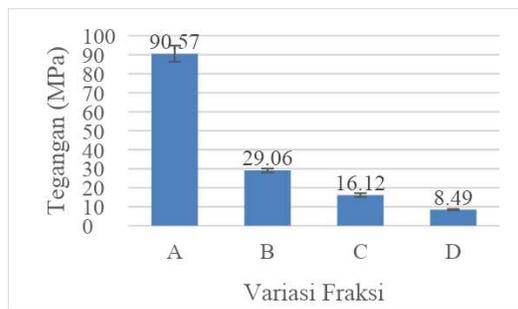
1. Cetakan Komposit.
2. Timbangan Digital.
3. Gerinda Tangan
4. Mesin Uji Bending
5. Mesin Pencacah
6. Mikroskop
7. Alat Pres

3.2. Bahan

- 1 Limbah kain konveksi.
- 2 Resin Polyester.
- 3 Katalis Mekpo.
- 4 Wax Miracle Gloss.

4. Hasil dan Pembahasan

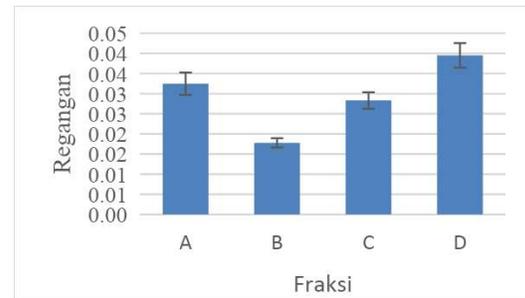
Spesimen Komposit	Variasi Fraksi Kain	Berat Kain (gr)	Berat Resin (gr)
A	0%	0	55.2
B	10%	9.14	49.68
C	20%	18.29	44.16
D	30%	27.43	38.64



(1)

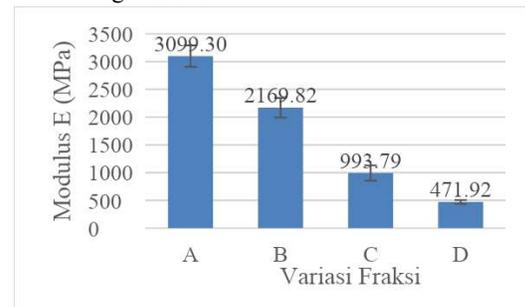
Dilihat dari grafik 1 tegangan bending dari spesimen berkurang seiring dengan bertambahnya fraksi volume kain. Variasi fraksi kain 0% memperoleh tegangan bending rata-rata terbesar dibandingkan dengan fraksi volume lain yaitu 90.57

MPa dan jika dibandingkan dengan dengan fraksi volume 10% maka tegangan bending yang diperoleh menurun sebesar 68% dengan tegangan bending rata-rata yang diperoleh sebesar 29.06 Mpa, sementara untuk fraksi volume 20% memperoleh tegangan bending rata-rata sebesar 16.12 MPa dimana hal tersebut lebih rendah 82% jika dibandingkan dengan spesimen dengan fraksi volume 0% dan untuk spesimen dengan variasi fraksi volume kain 30% tegangan bending yang diperoleh sebesar 91% di angka rata-rata sebesar 8.49MPa.



(2)

Berdasarkan grafik 2 regangan bending pada grafik diatas dapat diamati bahwa terdapat hubungan antara defleksi dengan variasi fraksi volume kain dan regangan bending pada spesimen komposit. Dari data tersebut, dapat dilihat spesimen dengan variasi fraksi volume kain 0% memiliki regangan bending rata-rata sebesar 0.032 dimana hal tersebut 82.76% lebih tinggi jika dibandingkan dengan spesimen 10% dan 14,69% lebih tinggi jika dibandingkan dengan variasi kain 20%, dan untuk spesimen 30% memperoleh regangan bending lebih tinggi 17.8% dibandingkan dengan variasi fraksi 0% kain di angka 0.040.



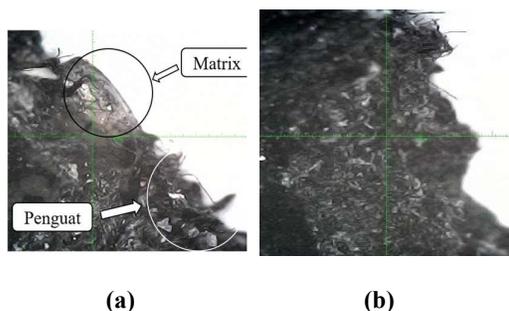
(3)

Dilihat pada grafik 3 dapat diamati bahwa spesimen dengan variasi volume kain 0% memperoleh modulus bending rata-rata 3099,30 MPa, untuk modulus bending spesimen 10% menurun sebesar 30% yakni di angka 2169,82 MPa, dan untuk spesimen dengan variasi kain 20%, modulus bendingnya menurun 68% di angka 993.79

MPa dan untuk variasi 10% kain menurun sebesar 85% di angka 471,92 MPa.

Ketika volume serat tinggi, kemungkinan terjadinya ketidakmerataan matriks dalam komposit serat meningkat, dan keseragaman distribusi pengikat serat berkurang, mengakibatkan penurunan ikatan antara serat-matriks. Sebaliknya, tekanan yang diberikan pada komposit selama proses fabrikasi dapat menyebabkan resin berlebih keluar dari cetakan dimana hal tersebut mempengaruhi distribusi matriks dalam komposit. Semua faktor ini bersama-sama berkontribusi pada penurunan kekuatan dan modulus bending pada beban serat yang tinggi, serta mempengaruhi posisi serat dalam cetakan. Besarnya kekuatan bending yang dihasilkan dipengaruhi oleh rasio jumlah kain dan pengikat yang terdapat pada komposit dikarenakan semakin banyak rasio pengikat atau matriks yang digunakan maka penguat yang digunakan semakin sedikit hal tersebut mempengaruhi kemampuan dari pengikat untuk mengikat penguat yang terdapat pada matriks sehingga dapat menambah kekuatan dari komposit.[8]

Matriks berperan penting yang berfungsi mentransfer beban yang ada pada spesimen yang diperkuat serat sekaligus memperkuat material karena serat saling terikat satu sama lain, namun dibalik bertambahnya kekuatan tersebut diiringi dengan berkurangnya kelenturan dari komposit, bisa dilihat pada grafik dengan variasi fraksi rasio penguat yang lebih tinggi menghasilkan kekuatan bending yang lebih kecil namun menghasilkan grafik yang lebih landai, dimana hal tersebut menandakan bahwa dengan menambahkan penguat berupa kain pada komposit dapat menambah elastisitas bahan sehingga komposit dapat meregang lebih jauh sebelum akhirnya patah. [9]



Pada gambar a merupakan patahan dari spesimen dengan fraksi volume kain 10% dapat

diamati bahwa pada patahan terdapat matriks yang masih menempel pada penguat, hal tersebut menandakan adanya ikatan yang baik antara penguat dan pengikat. Pada hasil foto b dimana merupakan patahan spesimen dengan variasi fraksi kain 30%, dapat dilihat bahwa matriks yang menempel pada penguat lebih sedikit jika dibandingkan diantara spesimen lainnya, hal tersebut menandakan bahwa komposit kekurangan matriks yang menghasilkan ikatan penguat dengan matriks yang lemah.[10]

5. Kesimpulan

Penambahan fraksi volume kain berpengaruh terhadap kekuatan bending komposit dimana penambahan fraksi volume kain mengakibatkan menurunnya tegangan bending secara signifikan, diamati pada variasi fraksi 0% memiliki tegangan bending tertinggi jika dibandingkan dengan variasi fraksi lainnya, dimana tegangan bending variasi fraksi volume 10% lebih rendah 68%, fraksi volume 20% lebih rendah 82% dan fraksi volume 30% lebih rendah 91%.

Regangan bending variasi fraksi kain 30% memperoleh nilai regangan bending tertinggi di angka 0.040 dimana angka tersebut 17% lebih besar dibandingkan dengan variasi fraksi 0%.

Modulus bending menurun seiring dengan ditambahkan variasi fraksi kain dimana untuk spesimen 0% yang mana jika dibandingkan dengan variasi fraksi 10% menurun sebesar 30%, 20% sebesar 68% dan, 30% sebesar 85%.

Dari hasil pengamatan dengan foto makro diamati bahwa ikatan pada spesimen dengan variasi fraksi 10% memiliki ikatan yang lebih baik dibandingkan dengan variasi fraksi 20% ataupun 30% hal tersebut diamati pada patahan yang terjadi dimana semakin sedikit volume kain yang digunakan maka *pullout* yang terjadi pada spesimen semakin sedikit.

Daftar Pustaka

- [1] Alavudeen, a., Thiruchitrambalam, M., Venkateshwaran, N., & Athijayamani, a. (2011). Review of Natural Fiber Reinforced Woven Composite. Rev. Adv. Mater. Sci, 27, 146–150. http://mp.ipme.ru/e-journals/RAMS/no_22711/alavudeen.pdf
- [2] Suryawan, I. G. P. A., Suardana, N., Suarsana, I. K., Lokantara, I. P., & Lagawa, I. K. J. (2019). Kekuatan Tarik dan Lentur pada Material Komposit Berpenguat Serat Jelatang. Jurnal Energi Dan Manufaktur,

- 12(1), 7.
- [3] Garoushi, S. K., Lassila, L. V. J., & Vallittu, P. K. (2006). Short fiber reinforced composite: The effect of fiber length and volume fraction. *Journal of Contemporary Dental Practice*, 7(5), 010–017. <https://doi.org/10.5005/jcdp-7-5-10>
- [4] [Chen, A. S., & Matthews, F. L. (1993). A review of multiaxial/biaxial loading tests for composite materials. *Composites*, 24(5), 395–406. [https://doi.org/10.1016/0010-4361\(93\)90247-6](https://doi.org/10.1016/0010-4361(93)90247-6)
- [5] Bramantiyo, A. (2008). Terhadap Sifat Mekanik Material Komposit Poliester – Serat Alam Terhadap Sifat Mekanik Material Komposit Poliester – Serat Alam. F. Tek. U. Indonesia.
- [6] Munakaampe, G. M., Kanyanga, S. B., Myler, P., & Chizyuka, C. G. (2017). Response of Natural Sisal Reinforced Polyester Composites to Three-point and Four-point Bending. *Procedia Manufacturing*, 7, 327–332. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2016.12.080>
- [7] Islam, M. M., Kabir, H., Gafur, M. A., Rahman Bhuiyan, M. M., Kabir, M. A., Qadir, M. R., & Ahmed, F. (2015). Study on Physio-Mechanical Properties of Rice Husk Ash Polyester Resin Composite. *International Letters of Chemistry, Physics and Astronomy*, 53, 95–105.
- [8] Mohd Nurazzi, N., Khalina, A., Chandrasekar, M., Aisyah, H. A., Ayu Rafiqah, S., Ilyas, R. A., & Hanafee, Z. M. (2020). Effect of fiber orientation and fiber loading on the mechanical and thermal properties of sugar palm yarn fiber reinforced unsaturated polyester resin composites. *Polimery/Polymers*, 65(2),
- [9] Pickering, K. L., Efendy, M. G. A., & Le, T. M. (2016). A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 83, 98–112. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.08.038>
- [10] Abdullah, E. T. (2013). Estabraq النهرين 2011. 16(3), 129–132.



Pengaruh Fraksi Volume Serat Pada Green Composite Serat Bambu Dengan Matriks Sari Pati Kentang Terhadap Kekuatan Impak Dan Water Absorption

Fery Sehat Wiguna Marpaung, Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati,
Ketut Astawa

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit, Jimbaran Bali

Abstrak

Material komposit ramah lingkungan dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan manusia, seperti pada industri otomotif, penerbangan dan konstruksi. Pengembangan material komposit mengarah pada penggunaan material yang *biodegradable*, seperti serat bambu, serat bambu merupakan material ramah lingkungan. Komposisi serat bambu memiliki potensi untuk dijadikan sebagai bahan komposit. Keuntungan menggunakan komposit antara lain material ringan, tahan korosi, dan tanpa proses permesinan. Komposit berpenguat serat alam memiliki kekuatan 40% lebih kuat dan lebih ringan dari pada komposit serat gelas. Oleh karena itu, material komposit serat alam dapat diproyeksikan menjadi material alternatif pengganti komposit serat sintetis. Penelitian dilakukan pada komposit dengan matriks sari pati kentang berpenguat serat bambu. Variasi komposisi komposit dengan perbandingan (serat : matriks) yaitu 5%: 95%, 7,5%: 92,5%, dan 10%: 90%. Pengujian mekanik dan pengujian fisik yang dilakukan pada spesimen komposit yaitu uji impak dan uji daya serap air. Pembuatan spesimen mengacu pada standar ASTM D6110 dan ASTM D570-98. Hasil penelitian didapatkan daya serap air tertinggi pada fraksi volume serat : matriks sebesar 90%:10% dengan nilai daya serap air rata-rata 83,66% dan nilai ketangguhan impak tertinggi pada komposit dengan perbandingan fraksi volume serat : matriks sebesar 5%:95%, dengan nilai ketangguhan impak rata-rata 0,059 J/mm². Hasil ini dikuatkan dengan pengamatan penampang patahan uji impak, dimana terlihat jumlah serat yang dominan dibanding variasi yang lain.

Kata kunci: Green Composite, Uji Impak, Uji Daya Serap Air, Serat Bambu, Sari Pati Kentang.

Abstract

Environmentally friendly composite materials are developed to meet human needs, such as in the automotive, aviation, and construction industries. The development of composite materials leads to the use of biodegradable materials, such as bamboo fiber, which is an environmentally friendly material. The composition of bamboo fiber has the potential to be used as a composite material. The advantages of using composites include lightweight material, corrosion resistance, and no machining process. Composites reinforced with natural fibers have a strength 40% stronger and lighter than glass fiber composites. Therefore, natural fiber composite materials can be projected to be an alternative material to replace synthetic fiber composites. Research was conducted on composites with a matrix of potato starch reinforced with bamboo fiber. The variation in the composition of the composite with the ratio (fiber: matrix) is 5%: 95%, 7.5%: 92.5%, and 10%: 90%. Mechanical testing and physical testing conducted on composite specimens are impact tests and water absorption tests. Specimen manufacture refers to ASTM D6110 and ASTM D570-98 standards. The research results obtained the highest water absorption at the fiber volume fraction: matrix of 90%:10% with an average water absorption value of 83.66% and the highest impact toughness value in composites with a fiber volume fraction ratio: matrix of 5%:95%, with an average impact toughness value of 0.059 J/mm². These results are strengthened by observations of the impact test fracture cross-section, where the number of fibers is dominant compared to other variations and quite dominant fibers in the break condition (fiber break).

Keywords: Green Composite, Impact Test, Water Absorption Test, Bamboo Fiber, Potato Starch..

1. Pendahuluan

Plastik merupakan material yang berperan penting dalam keberlangsungan hidup manusia dikarenakan sifatnya yang ringan dan mudah diproduksi. Penggunaan material plastik yang berlebihan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan karena plastic sifatnya susah terurai oleh tanah sehingga akan bertumpuk. Pembakaran plastic bukanlah pilihan yang tepat, karena akan menghasilkan gas yang akan mencemari udara dan membahayakan pernafsan manusia, dan jika ditimbun dalam tanah maka akan mencemari tanah dan air tanah. Untuk itu dibutuhkan alternatif lain yang dapat menggantikan fungsi dari plastik di kehidupan manusia [1].

Green composite adalah material yang lebih ramah lingkungan karena terbuat dari bahan-bahan

alami seperti serat bambu dan menggunakan resin alami yaitu sari pati kentang. Serat alami dapat menjadi pilihan karena memiliki kekuatan Tarik yang tidak kalah dengan serat sintesis, bahkan pada beberapa penelitian kekuatan serat bambu melebihi kekuatan tarik dari baja lunak, seperti kekuatan tarik bambu ori dapat mencapai 291 Mpa, dengan tegangan tekanan 46 Mpa, dan tegangan geser 7,5 Mpa [2]. Selain penggunaan serat bambu yang dapat digunakan sebagai penguat, *green composite* juga menggunakan pengikat alami seperti sari pati kentang yang mengandung 26% amilosa dan 74 % amilopektin yang menyusun pati yang berguna sebagai pengeras dan pengikat alami pada *green composite*.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik dari *green composite* serat bambu dengan matriks sari pati kentang, dengan cara

melakukan pengujian impak dengan ASTM D 6610 dan daya serap air dengan ASTM D 570-98, dengan teknik pembuatan spesimen dengan menggunakan metode *hand-lay up*. Untuk mendapatkan hasil yang diinginkan dari luasnya permasalahan yang ada, maka perlu dilakukan pembatasan antara lain:

1. Menggunakan serat bambu dengan Panjang serat 1 cm dan sari pati kentang sebagai matriks
2. Proses pembuatan green composite menggunakan teknik *hand-lay up*

2. Dasar Teori

2.1. Green composite

Green composite adalah material yang terdiri dari dua atau lebih bahan alami yang disusun sedemikian rupa dalam skala makroskopik sehingga diperoleh kombinasi sifat fisik dan mekanik yang lebih baik. *Green composite* memiliki kelebihan bisa didegradasikan oleh alam sehingga tidak menumpuk di alam dan juga tidak mencemari lingkungan, tetapi *green composite* juga memiliki beberapa kelemahan seperti wettability yang rendah, ketidakcocokan dengan beberapa matriks polimer dan titik lelehnya yang rendah [3].

2.2. Matriks

Matriks adalah sebuah bagian dari material *green composite* yang memiliki peran sebagai pengikat atau penguat dari sebuah *green composite* yang memiliki sifat lunak pada kondisi cair dan bersifat kaku, keras dan mengikat pada kondisi padat. Seperti yang kita lihat pada pati kentang yang memiliki kandungan amilosa sebesar 24% dan amilopektin sebesar 76 % yang berguna sebagai pengikat dan penguat *green composite* untuk menghasilkan sifat mekanik yang lebih baik [4], seperti yang ditunjukkan Gambar 1.



Gambar 2 Sari Pati Kentang

2.3. Serat Bambu

Serat bambu memiliki potensi yang baik untuk dikembangkan sebagai salah satu bahan teknik dengan melakukan rekayasa material komposit berpenguat

serat bambu, karena dibebepara penelitian kekuatan tarik bambu dapat melebihi kekuatan tarik dari baja lunak, seperti yang ditunjukkan Gambar 2.



3. Metode Penelitian

Gambar 1 Serat Bambu

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam Penelitian ini adalah sebagai berikut :

3.1 Alat

1. Alat uji *charpy impact* HT-8041A.
2. Magnetic stirrer.
3. Cetakan akrilik untuk mencetak spesimen uji.
4. Gelas beker sebagai wadah tempat mencampur dan memanaskan bahan-bahan komposit.
5. Timbangan digital.
6. Penggaris dan jangka sorong sebagai alat ukur.
7. Sendok sebagai pengaduk spesimen.
8. Lap dan tisu sebagai pembersih.
9. Mesin pemotong spesimen sesuai standar ASTM.

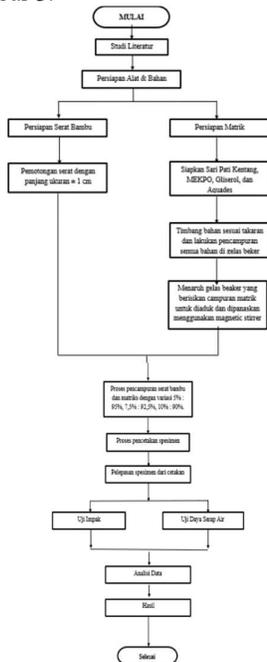
3.2 Bahan

Bahan yang digunakan antara lain:

1. Serat bambu sebagai pengikat komposit
2. Sari pati kentang sebagai penguat komposit.
3. Gliserol untuk memberikan sifat elastis pada komposit.
4. Mekpo sebagai pengeras komposit.
5. Aquades untuk melarutkan semua bahan komposit.

3.3 Diagram alir penelitian

Penelitian kali ini menggunakan tahapan seperti pada Gambar 3.



Gambar 3 Diagram Alir Penelitian

3.4 Metode Uji

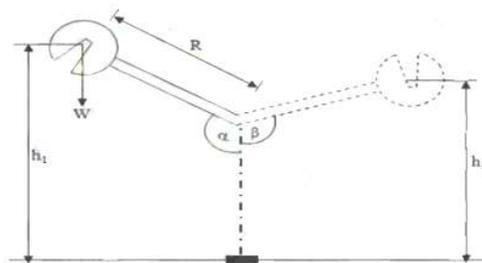
3.4.1 Uji Impak

Uji impact merupakan pengujian yang cenderung terjadinya patahan getas, salah satu yang sering digunakan adalah *impact test* (pengujian kejut). Pada pengujian ini, benda uji yang digunakan batang uji dengan takikan yang dipukul dengan sebuah bandul.



Gambar 4 Alat Uji Charpy Impact HT-8041A

Pada alat ini nilai berat bandul yang digunakan adalah sebesar 81,423 N, Panjang lengan 0,6 m, dan sudut bandul sebesar 120° terhadap arah gravitasi seperti ditunjukkan pada gambar 5. Untuk mendapatkan nilai energi awal (E_0), energi akhir (E_1), dan kekuatan impact (I_s) digunakan perhitungan seperti pada persamaan (1), (2), dan (3).



Gambar 5 Skema Uji Impact [5]

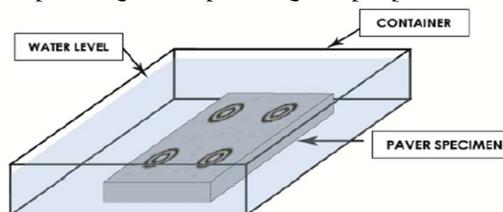
$$E_0 = mgh_0 = mg(L + L \sin(\alpha - 90^\circ)) \quad (1)$$

$$E_1 = mgh_1 = mg(L + L \sin(\beta - 90^\circ)) \quad (2)$$

$$I_s = \frac{\Delta E}{A} = \frac{E_0 - E_1}{A} \quad (3)$$

3.4.2 Uji Daya Serap Air

Uji daya serap air adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kemampuan material dalam menyerap air dengan cara disentrifuge, serta menentukan jumlah air yang tersedia untuk proses gelatinisasi pati selama pemasakan. Pada pengujian ini benda uji direndam didalam aquades selama 1x24 jam. Setelahnya dilakukan penimbangan berat sebelum dan sesudah benda uji direndam. Untuk mendapatkan daya serap air, digunakan perhitungan seperti persamaan (4)



Gambar 6 Uji Daya Serap Air

$$W_{abs} = \frac{W_a - W_o}{W_o} \times 100\% \quad (4)$$

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Fraksi Volume Uji Impact

Pada penelitian menggunakan nilai fraksi volume pada spesimen uji impact seperti yang diunjukkan pada tabel 1.

Table 1Fraksi Volume Uji Impact

Fraksi Volume Sari Pati kentang : Serat Bambu	Komposisi Berat	
	Sari Pati Kentang (gr)	Serat Bambu (gr)
95% : 5%	113,22	3,416
92,5% : 7,5%	110,24	5,12
90% : 10%	107,26	6,832

4.2 Fraksi Volume Uji Daya Serap Air

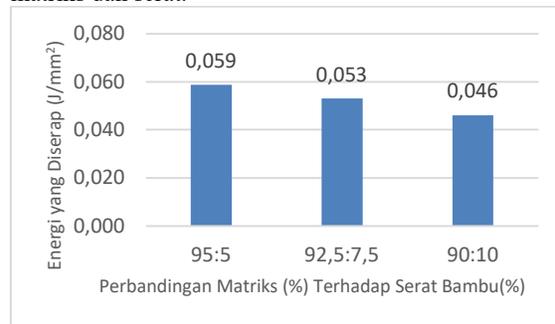
Pada penelitian menggunakan nilai fraksi volume pada spesimen uji impact seperti yang diunjukkan pada tabel 2.

Table 2 Fraksi Volume Uji Daya Serap Air

Fraksi Volume Sari Pati kentang : Serat Bambu	Komposisi Berat	
	Sari Pati Kentang (gr)	Serat Bambu (gr)
95% : 5%	22,64	0,683
92,5% : 7,5%	21,93	1,024
90% : 10%	21,34	1,36

4.3 Hasil Uji Impact

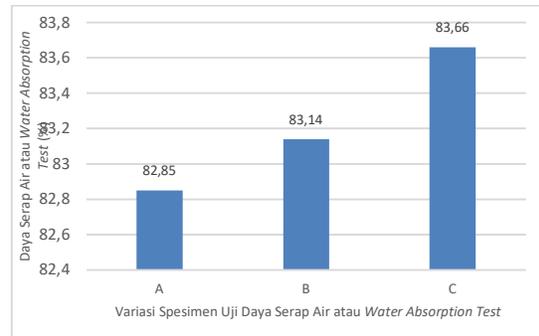
Berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan (3), maka diperoleh hasil seperti grafik pada gambar 7. Pada pengujian impact kekuatan spesimen paling tinggi pada perbandingan 95%:5% dengan rata rata 0,059 J/mm², dan dinilai impact terendah pada perbandingan 90%:10% dengan rata-rata 0,046 J/mm². Penuruna energi yang diserap disebabkan oleh berlebihnya jumlah serat pada spesimen yang mengakibatkan penurunan ikatan matriks dan serat.



Gambar 7 Grafik Kekuatan Impact

4.4 Hasil Uji Daya Serap Air

Berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan (4), maka diperoleh hasil seperti grafik pada gambar 8. Pada pengujian daya serap air, didapatkan hasil penyerapan air palig besar pada perbandingan 90%:10% dengan yaitu sebesar 83,66%, sedangkan penyerapan air palig rendah pada perbandingan 95%:5% yaitu sebesar 82,85%. hal ini disebabkan karena banyak nya jumlah serat sehingga meningkat daya serap air.



Gambar 8 Grafik Daya Serap Air

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian *green composite* serat bambu dengan matriks sari pati kentang menggunakan perbandingan fraksi volume pada kekuatan impact dan daya serap air dapat disimpulkan bahwa :

1. Dari pengujian impact menunjukkan bahwa spesimen dengan perbandingan matriks : serat (95% : 5%) mencapai nilai terbaiknya yaitu sebesar 0,0588 J/mm² yang merupakan nilai tertinggi jika dibandingkan dengan perbandingan matriks : serat (92,5% : 7,5%) sebesar 0,0531 J/mm² dan perbandingan matriks : serat (90% : 10%) sebesar 0,0461 J/mm²
2. Pada pengujian daya serap air membuktikan bahwa semakin banyak serat bambu pada green composite maka penyerapan airnya juga akan semakin tinggi, maka dari itu green composite serat bambu dengan matriks sari pati kentang memiliki sifat yang menyukai air atau hidrofolik.

Daftar Pustaka

- [1] N. Karuniastuti, 2013. '*Bahaya Plastik Terhadap Kesehatan Dan Lingkungan*',
- [2] A. Purna Irawan And Dan I. Wayan Sukania, 2013, '*Kekuatan Tekan Dan Flexural Material Komposit Serat Bambu Epoksi*', Jurnal Teknik Mesin, Vol. 14, No. 2, Pp. 59–63, Doi: 10.9744/Jtm.14.2.59-63.
- [3] C. I. P. K. Kencanawati, N. Suardana, I. K. G. Sugita, And I. W. B. Suyasa, 2019 '*Pengaruh Panjang Serat Terhadap Kekuatan Tarik Dan Kekuatan Impact Greencomposite Serat Kulit Buah Pinang Dengan Matriks Getah Pinus*', Jurnal Energi Dan Manufaktur, Vol. 12, No. 1, P. 33, , Doi: 10.24843/Jem.2019.V12.I01.P06.
- [4] A. Radhiyatullah, N. Indriani, M. Hendra, And S. Ginting, 2015 '*Pengaruh Berat Pati Dan Volume Plasticizer Gliserol Terhadap Karakteristik Film Bioplastik Pati Kentang*',.

- [5] D. Satyadianto, 2015 '*Final Project-Tm 090340 Effect Of Friction Pressure, Forge Pressure, And Friction Time Variation To Impact Strength In Friction Welding Joint Using Aisi 4140 Alloy Material*'..

	<p>Fery Sehat Wiguna Marpaung menempuh studi S1 di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, pada tahun 2019, yang memiliki minat bidang ilmu komposit</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan Komposit</p>	

	<p>Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati menyelesaikan studi S1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 1996, S2 di Universitas Gajah Mada pada tahun 2003, dan S3 di Universitas Udayana pada tahun 2020. Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati memiliki konsentrasi ilmu dalam bidang komposit</p>
---	--

	<p>Ketut Astawa menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana pada tahun 1996, dan S2 di Universitas Brawijaya pada tahun 2006. Ketut Astawa memiliki konsentrasi ilmu dalam bidang Konversi Energi.</p>
---	--

Konsumsi Energi Konversi Sepeda Motor Listrik Dengan Fixed Belt Transmission Pada Kecepatan 30 km/jam

Jay Athar Van Alward, I Made Widiyarta, I Wayan Arya Darma, I Wayan Widhiada, Si Putu Gede Gunawan Tista, I Made Astika

Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Indonesia memiliki jumlah sepeda motor konvensional yang masif sebanyak 125 juta unit pada tahun 2022, oleh karena itu elektrifikasi kendaraan bermotor dilakukan karena dianggap menjadi alternatif terbaik untuk mengatasi masifnya sepeda motor konvensional di Indonesia. Sepeda motor konvensional yang dikonversi menjadi sepeda motor listrik memiliki sumber daya berupa baterai, masalah utama pada penggunaan baterai sebagai sumber daya adalah jarak tempuh yang terbatas dan pengisian baterai yang relatif lama. Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan menggunakan rasio transmisi yang tepat sebagai pengaruh besar atau kecilnya energi yang dikonsumsi, ada juga beberapa penelitian yang menyatakan bahwa semakin kecil rasio transmisi maka semakin kecil pula energi yang dikonsumsi. Penelitian dilakukan dengan menggunakan transmisi yang telah dimodifikasi (Fixed Belt Transmission), rasio transmisi terkecil yang mampu dicapai sebesar 0,81. Rasio 0,81 tersebut akan diuji pada kecepatan 30 km/jam untuk mengetahui besar energi yang dikonsumsi pada pengujian selama 10 menit. Hasil pengujian konsumsi energi sepeda motor listrik konversi didapatkan bahwa dengan rasio transmisi tanpa penambahan ring sebesar 0,81 yang diuji pada kecepatan 30 km/jam selama 10 menit mengkonsumsi energi sebesar 0,173 kWh.

Kata Kunci: Rasio Transmisi, Konsumsi Energi, Sepeda Motor Listrik Konversi.

Abstract

Indonesia has massive number of conventional motorcycles, totaling 125 million units in 2022, therefore, the electrification of motorized vehicles is pursued as the best alternative to address the massive number of conventional motorcycles in Indonesia. Conventional motorcycles converted into electric motorcycles are powered by batteries, the primary challenge with battery usage is the limited travel range and relatively long charging times. This issue can be mitigated by using the appropriate transmission ratio, influencing the amount of energy consumed. Some studies suggest that the smaller the transmission ratio, the less energy is consumed. Research was conducted using a modified transmission (Fixed Belt Transmission), where the smallest achievable transmission ratio was found to be 0,81. This ratio of 0,81 will be tested at a speed of 30 km/h to determine the energy consumed during a 10-minute test. The result of the electric motorcycle conversion energy consumption test revealed that with a transmission ratio of 0,81, tested at a speed of 30 km/h for 10 minutes, the energy consumed was 0,173 kWh.

Key Words: Ratio Transmission, Energy Consumption, Electric Motorcycle Conversion.

1. Pendahuluan

Jumlah sepeda motor konvensional di Indonesia pada tahun 2022 terdapat 125 juta unit sepeda motor [1], sementara untuk mengatasi isu lingkungan sepeda motor listrik konversi adalah alternatif terbaik untuk Indonesia [4]. Sepeda motor listrik konversi menggunakan baterai sebagai sumber energi dan masalah utama dari penggunaan baterai ini adalah jarak yang relative terbatas dan pengisian baterai yang relatif lama. Masalah tersebut dapat diatasi oleh transmisi, dengan menggunakan rasio transmisi yang tepat sehingga sepeda motor listrik konversi dapat bekerja lebih efisien dan mengkonsumsi energi lebih sedikit [5]. Adapula penelitian-penelitian yang mendapatkan kesimpulan bahwa rasio yang lebih kecil mengkonsumsi energi yang lebih rendah. Pada pengklasifikaian rasio *continuously variable transmission* (CVT) sepeda motor terhadap kecepatan

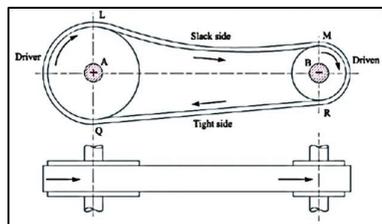
yang sedang berlangsung pada motor, pengklasifikasian tersebut adalah *low ratio* ($R > 1$), *medium ratio* ($R \approx 1$) dan *overdrive ratio* ($R < 1$) [2]. *Overdrive ratio* adalah rasio transmisi yang lebih kecil dari pada klasifikasi lainnya, oleh karena itu penelitian dilakukan dengan menggunakan *overdrive ratio* untuk mendapatkan rasio transmisi dibawah satu. Sepeda motor listrik konversi dilakukan modifikasi transmisi menjadi *fixed belt transmission*, sehingga rasio transmisi berada pada besar yang konsisten. Untuk mendapatkan *overdrive ratio* diperlukan dua belas ring dibelakang *primary sliding sheave* sehingga diantara *primary fixed sheave* dan *primary sliding sheave* tidak terdapat ring sama sekali yang menghasilkan rasio transmisi dengan nilai terkecil. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besar energi yang dikonsumsi dengan menggunakan rasio transmisi terkecil pada sepeda motor listrik tersebut.

Ada pula batasan penelitian seperti berikut:

1. Pengujian dilakukan dengan *fixed belt transmission*.
2. Pengujian dilakukan pada kecepatan 30 km/jam.
3. Pengujian dilakukan selama 10 menit.
4. Baterai 48V; 24Ah.
5. Brushless DC Motor Controller 48V; 35A; 1000 W.
6. Brushless Motor Listrik 48V; 35A; 1000W.

2. Dasar Teori

Transmisi adalah perangkat mekanik yang mentransfer daya dari mesin ke roda. Transmisi pada biasanya menggunakan jenis *open belt drive*, jenis ini digunakan dengan poros yang sejajar antara *primary sheave* dan *secondary sheave* [3].



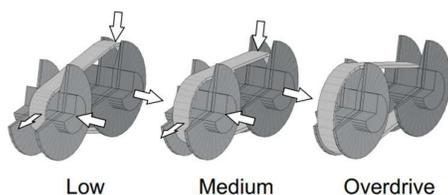
Gambar 2. 1 *Open Belt Drive*

Untuk menghitung rasio kita dapat memakai rumus dari *open belt drive* seperti berikut sebagai perbandingan antara diameter *sheave* dan rpmnya.

$$\pi d_1 n_1 = \pi d_2 n_2$$

- π = Konstanta Lingkaran
- d_1 = Diameter Primary Sheave (m)
- d_2 = Diameter Secondary Sheave (m)
- n_1 = Kecepatan Primary Sheave (rpm)
- n_2 = Kecepatan Secondary Sheave (rpm)

CVT memiliki tiga klasifikasi prinsip kerja yang dilihat dari proses perpindahannya, yaitu: *low ratio* ($R > 1$), *medium ratio* ($R \approx 1$) dan *overdrive ratio* ($R < 1$) [2]. Dengan CVT yang telah dimodifikasi menjadi *fixed belt transmission* maka rasio transmisi akan konsisten berada pada klasifikasi tertentu, yaitu pada penelitian ini, rasio transmisi konsisten berada pada *overdrive ratio*.



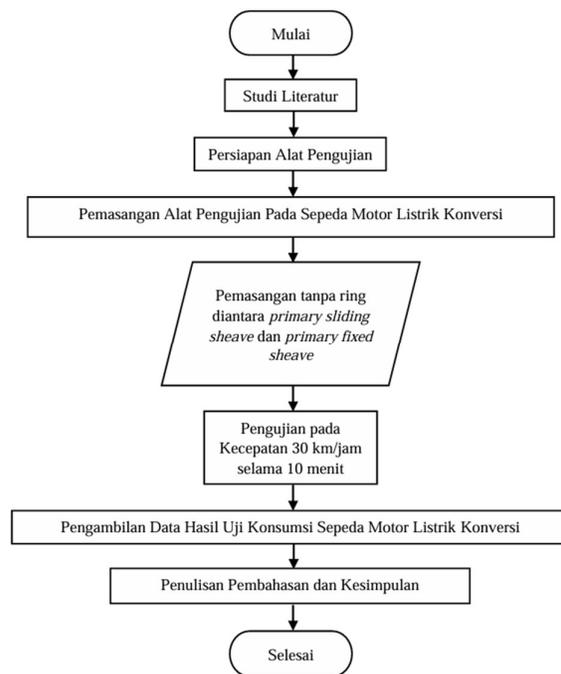
Gambar 2. 2 Klasifikasi Rasio Transmisi

Dalam mengetahui besar energi yang dikonsumsi pada sebuah sepeda motor listrik konversi yang akan dilakukan pengujian selama 10 menit, maka daya yang telah didapat dilakukan perhitungan seperti berikut:

$$\text{Konsumsi Energi (kWh)} = \frac{\text{Daya (Watt)} \times \frac{1}{6} \text{ jam}}{1000}$$

3. Metode Penelitian

Adapula diagram alir yang memperlihatkan tahap-tahap pengujian yang dimulai dari studi literatur, persiapan alat, pemasangan alat, pemasangan alat pengujian, pengujian sepeda motor listrik konversi sampai pada pengambilan data besar energi yang dikonsumsi.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Pengujian

Variabel bebas dari penelitian ini adalah:

1. Rasio transmisi *fixed belt transmission*.
2. Kecepatan 30 km/jam.

Variabel kontrol dari penelitian ini adalah waktu pengujian selama 10 menit.

Variabel terikatnya adalah konsumsi energi (kWh).

Peralatan pada pengujian:

1. Throttle Lock/Cruise Control.
2. Tachometer.
3. Multimeter Digital.

4. Dudukan Uji Konsumsi Energi Sepeda Motor Listrik.

Penelitian dan pengujian sepeda motor listrik konversi dilakukan seperti gambar berikut:



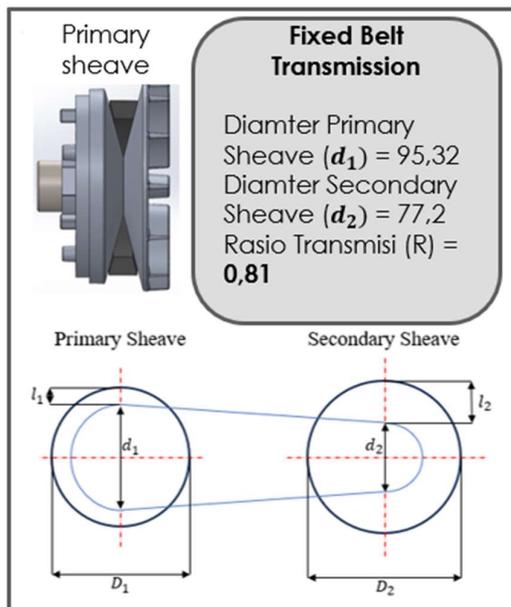
Gambar 3. 2 Pengujian Sepeda Motor Listrik konversi

Prosedur penelitian:

1. Menghitung rasio transmisi *fixed belt transmission*.
2. Mengkonversi kecepatan sepeda motor menjadi rpm pada roller
3. Melakukan pengujian rasio transmisi tanpa penambahan ring dengan kecepatan 30 km/jam.
4. Pengambilan data hasil pengujian.
5. Penulisan pembahasan dan hasil kesimpulan.

4. Hasil dan Pembahasan

Tahap pertama dari penelitian adalah menghitung besar dari rasio dari *fixed belt transmission* tanpa penambahan ring juga menghitung kecepatan yang dikonversi menjadi RPM pada roller.



Gambar 4. 1 Rasio Tanpa Penambahan Ring

Menghitung *fixed belt transmission*, didapatkan kedalaman v-belt sebesar:

$$l_1 = 8,34 \text{ mm}$$

$$l_2 = 22,9 \text{ mm}$$

- Diameter *primary sheave* tanpa penambahan ring:

$$d_1 = D_1 - (2 \times l_1)$$

$$d_1 = 112 \text{ mm} - (2 \times 8,34 \text{ mm})$$

$$d_1 = 95,32 \text{ mm}$$

- Diameter *secondary sheave* tanpa penambahan ring:

$$d_2 = D_2 - (2 \times l_2)$$

$$d_2 = 123 \text{ mm} - (2 \times 22,9 \text{ mm})$$

$$d_2 = 77,2 \text{ mm}$$

- Sehingga, rasio transmisi tanpa penambahan ring:

$$n_1 = \frac{d_2}{d_1}$$

$$n_1 = \frac{77,2}{95,32}$$

$$n_1 = 0,81$$

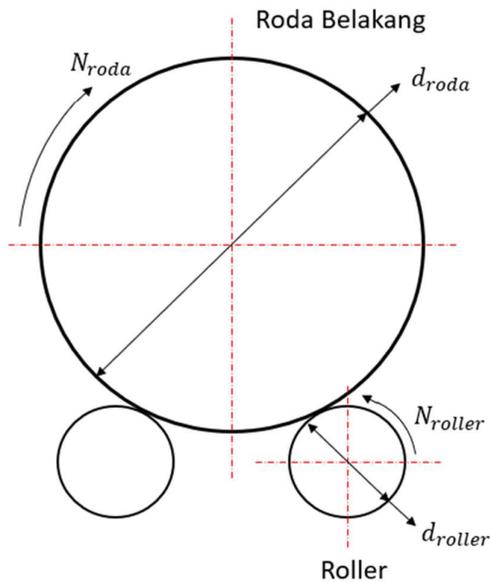
Diketahui, diameter roda motor (d) adalah 0,49 m. besar satuan panjang roda satu kali putaran dapat dinyatakan melalui perhitungan keliling dari roda seperti berikut:

$$\begin{aligned} K_o &= \pi \times d \\ &= 3,14 \times 0,49 \text{ m} \\ &= 1,539 \text{ m} \end{aligned}$$



Gambar 4. 2 Hubungan Roda dan Roller

Untuk menghitung RPM pada roller, kita harus mengkonversi kecepatan (km/jam) kedalam RPM pada roda, sehingga RPM pada roller dapat dihitung seperti gambar



Gambar 4. 3 Hubungan Roda dan Roller

Ada pun perhitungan RPM pada kecepatan 30 km/jam seperti berikut:

- Motor dengan kecepatan 30 km/jam dimanipulasi kedalam bentuk meter per menit:
30 km/jam = 500 meter/menit
- Jarak yang akan ditempuh motor per menitnya dengan kecepatan 30 km/jam dibagi jarak yang dihasilkan satu putaran roda adalah rpm-nya:

$$N_3 = \frac{\text{jarak yang ditempuh motor per 1 menit}}{\text{jarak satu putaran roda}} = \frac{500 \text{ (m/minute)}}{1,539 \text{ (m)}} = 325 \text{ rpm}$$

RPM pada roller dapat diketahui dikarenakan Roller dan roda belakang yang bersinggungan. Diameter dari roller adalah 0,116 m sehingga RPM pada roller dapat diketahui melalui perbandingan antara diameter dan RPM pada roda dan roller, perhitungan RPM roller pada kecepatan 30 km/jam seperti berikut:

$$N_{roller} \times d_{roller} = d_{roda} \times N_{roda}$$

$$N_{roller} = \frac{d_{roda}}{d_{roller}} \times N_{roda}$$

$$N_{roller} = \frac{0,49}{0,116} \times 325 \text{ RPM}$$

$$N_{roller} = 1.370 \text{ RPM}$$

Dari hasil perhitungan rasio transmisi dan perhitungan RPM pada roller didapat bahwa besar konsumsi energi yang didapat dapat dilihat seperti berikut:



Gambar 4. 4 Kurva Tegangan, Arus dan Daya

Pada gambar 4. Kurva tersebut memperlihatkan tegangan, arus dan daya pada setiap detiknya selama sepuluh menit, dan di rata-ratakan,

Tabel 4. 1 Tabel Konsumsi Energi

Kec (km/jam)	Rasio transmisi	Detik (t)	Daya (W)	Konsumsi Energi (kWh)
30	0,81	600	1038	0,173

Tabel 4. 1 memperlihatkan bahwa rasio transmisi *fixed belt transmission* (R; 0,81, *overdrive ratio*) mampu mencapai kecepatan 30 km/jam, energi rata-rata yang dikonsumsi oleh rasio transmisi ini adalah 0,173 kWh.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian konsumsi energi sepeda motor listrik konversi terhadap variasi rasio transmisi, bahwa rasio transmisi *fixed belt transmission* sebesar 0,81 yang diuji pada kecepatan 30 km/jam mengkonsumsi energi sebesar 0,173 kWh dalam waktu 10 menit.

Daftar Pustaka

- [1] Badan Pusat Statistik. 2023. *Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Provinsi dan Jenis Kendaraan (Unit) 2022*. Retrieved July 1, 2023, from https://www.bps.go.id/indikator/indikator/vi ew_data_pub/0000/api_pub/V2w4dFkwdFN LNU5mSE95Und2UDRMQT09/da_10/1.

- [2] Bonsen, B. (2006). *Efficiency optimization of the push-belt CVT by variator slip control*. [Phd Thesis 1 (Research TU/e / Graduation TU/e), Mechanical Engineering]. Technische Universiteit Eindhoven. <https://doi.org/10.6100/IR615586>.
- [3] Dea, Yulita Novitasari. 2018. *Calculate Transmission of Belt and Pulley Altenator Selection of Kinetic Flywheel Conversion I (KFC I) to Maximize the Work of Tool at Terminal BBM Surabaya Group – Pertamina Perak*. Faculty of Vocational-ITS, Surabaya 2018.
- [4] Habibie, Achmad; Hisjam, Muhammad; Sutopo, Wahyudi; Nizam, Muhammad. 2021. *Sustainability Evaluation of Internal Combustion Engine Motorcycle to Electric Motorcycle Conversion*. Evergreen Joint Journal of Novel Carbon Resource Sciences & Green Asia Strategy, Vol. 08, Issue 02, pp469-476.
- [5] Hofman, T. C. H. Dai. 2010. *Energy Efficiency Analysis and Comparison of Transmission Technologies for an Electric Vehicle*. Control System Technology Group, PO BOX 512, 5600 MB Eindhoven, Netherlands. 978-1-4244-8218-4/10/\$26.00 ©2010 IEEE.



KAJIAN SIMULASI COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS POLA ALIRAN AIR DALAM TURBIN VORTEX PADA VARIASI SUDUT TAKIK

Ishak Danus, Made Suarda, I Gusti Ketut Sukadana
Prodi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Turbin Vortex merupakan jenis teknologi energi terbarukan dengan memanfaatkan air sebagai sumber energinya. Turbin Vortex dapat digunakan pada daerah yang memiliki head mulai dari 0,7m. Penelitian dan pengembangan Turbin Vortex mulai dilakukan pada tahun 2004. sudut takik merupakan parameter penting yang mempengaruhi performa Turbin Vortex. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu simulasi computational fluid dynamic dengan melakukan variasi pada sudut takik di kanal. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pola aliran air yang meliputi kontur kecepatan dan kontur tekanan dan performa Turbin Vortex yang meliputi torsi, daya output dan efisiensi.

Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa kontur kecepatan berbanding terbalik dengan kontur tekanan. Nilai kecepatan berbanding lurus dengan semakin besarnya sudut takik, sedangkan nilai tekanan berbanding terbalik dengan semakin besarnya sudut takik. Efisiensi tertinggi terdapat pada variasi sudut takik 15° sebesar 6.11% Sedangkan efisiensi terendah terdapat pada sudut takik 7° dengan nilai efisiensi 2,69%.

Kata kunci: Computational Fluid Dynamic, Turbin vortex, Sudut Takik, Pola Aliran, Peforma Turbin

Abstract

Vortex turbines are a type of renewable energy technology by utilizing water as a source of energy. Vortex turbines can be used in areas that have heads ranging from 0.7m. Research and development of Vortex Turbines began in 2004. notch angle is an important parameter that affects the performance of Vortex Turbines. The method used in this research is computational fluid dynamic simulation by varying the notch angle in the canal. This study was conducted to determine the water flow pattern which includes velocity contours and pressure contours and Vortex Turbine performance which includes torque, output power and efficiency.

The results obtained show that the velocity contour is inversely proportional to the pressure contour. The speed value is directly proportional to the greater the notch angle, while the pressure value is inversely proportional to the greater the notch angle. The highest efficiency is found in the 15° notch angle variation of 6.11% while the lowest efficiency is found at a notch angle of 7° with an efficiency value of 2.69%.

Keywords: Computational Fluid Dynamic, Vortex turbine, Notch Angle, Flow Pattern, Turbine Performance

1. Pendahuluan

Penggunaan energi fosil menyebabkan terjadinya kenaikan emisi gas rumah kaca sehingga iklim menjadi tidak stabil. Sehingga dibutuhkan energi terbarukan salah satunya air. ketersediaan air di Indonesia mencapai 694 miliar M^3 dan hanya 23% yang baru dimanfaatkan dari jumlah yang ada. Dimana 20% untuk memenuhi penggunaan air rumah tangga dan industri serta 80% sebagai kebutuhan memenuhi perairan irigasi. Ketersediaan air di Indonesia tersebar di Sumatera, Jawa, Kalimantan dan Bali.^[1]

Microhydro sering digunakan untuk memanfaatkan air dengan tinggi *head* tinggi. Namun aliran air tidak selalu memiliki *head* yang tinggi, seperti irigasi dan sungai yang memiliki *head* rendah belum bisa digunakan secara baik. Karena itu

dibutuhkan turbin untuk memanfaatkan air dengan head yang rendah.^[2]

Turbin Vortex merupakan salah satu jenis pembangkit listrik yang memanfaatkan pusaran air sebagai penggerak sudunya. Turbin Vortex sering dimanfaatkan pada daerah yang memiliki *head* rendah.^[3]

Pada jurnal yang ditulis oleh Dhakal (2018) telah meneliti perbandingan bentuk runner datar dan cekung dengan sudut takik 10° didapatkan nilai efisiensi turbin vortex sebesar 71% pada runner cekung.^[4]

Dari penelitian itu yang telah melakukan penelitian perbandingan bentuk runner, sehingga pada penelitian ini akan menggunakan variasi sudut takik dengan menggunakan metode simulasi CFD Ansys Fluent.

Permasalahan yang terdapat pada penelitian ini, meliputi:

1. Bagaimana pengaruh variasi sudut takik terhadap, kontur kecepatan dan kontur tekanan pada turbin *vortex*?
 2. Bagaimana pengaruh variasi sudut takik terhadap performa turbin meliputi torsi, daya output dan efisiensi?
- Batasan ditetapkan pada penelitian ini meliputi:
1. Simulasi CFD menggunakan aliran satu fasa dengan fluidanya adalah *water-liquid* (H₂O).
 2. Jumlah sudu *runner* turbin adalah 5 sudu.
 3. Posisi *runner* 1/3 tinggi basin.
 4. Penelitian ini mengabaikan *head loss*.
 5. Kecepatan aliran fluida diasumsikan 0.25 m/s.
 6. Simulasi dilakukan pada kondisi *steady state*.
 7. Tinggi basin 610 mm.

2. Dasar Teori

2.1 Persamaan Velocity Tangensial, Putaran, Torsi, Daya Output Dan Efisiensi

1. *Velocity Tangensial* (V_t):

$$V_t = \frac{2\pi r}{T} \quad (1)$$

2. Putaran (N):

$$N = 60.f \quad (2)$$

3. Torsi (τ):

$$\tau = F.r \quad (3)$$

4. Daya Output:

$$P_{turbin} = 2\pi.N.\tau/60 \quad (4)$$

5. Efisiensi:

$$\eta = P_{turbin}/P_{Pt} \times 100\% \quad (5)$$

Simbol dan keterangan:

T	= Periode (s)
N	= Putaran (rad/s)
f	= Frekuensi (1/s)
F	= Gaya pada poros (N)
r	= Jari-jari poros (m)
τ	= Torsi (Nm)
η	= Efisiensi (%)
P _{turbin}	= Daya turbin (Watt)
P _{Pt}	= Potensi daya air (Watt)

2.2 Meshing

Meshing merupakan tahapan menjadikan komponen menjadi bentuk elemen kecil. Tahap ini sangat penting dalam simulasi fluent maupun struktur, karena kualitas mesh yang baik akan menghasilkan nilai akurasi yang tinggi terhadap hasil simulasi yang

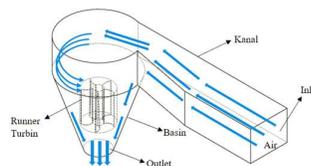
didapatkan. *Meshing* dilakukan dengan membuat penamaan *domain* untuk memudahkan dalam membentuk *cell* atau elemen kecil sehingga dapat diselesaikan persamaan-persamaan dalam simulasi. Kualitas mesh yang baik pada geometri dilihat dari nilai *skewness* dan *orthogonality*-nya seperti yang ditunjukkan pada gambar 1. *skewness* merupakan bentuk *cell* pada bagian luar komponen dan *orthogonal* merupakan bentuk *cell* pada bagian dalam komponen.

Tabel 1. *Skewness* dan *Orthogonality*

Skewness mesh metrics spectrum					
Excellent	Very good	Good	Acceptable	Bad	Unacceptable
0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.80	0.80-0.94	0.95-0.97	0.98-1.00
Orthogonal Quality mesh metrics spectrum					
Unacceptable	Bad	Acceptable	Good	Very good	Excellent
0-0.001	0.001-0.14	0.15-0.20	0.20-0.69	0.70-0.95	0.95-1.00

3. Metode Penelitian

Skema penelitian ditunjukkan pada gambar 2:



Gambar 1

Variabel penelitian:

1. Variabel bebas
Perubahan sudut takik pada kanal dari Turbin
7^o, 9^o, 11^o, 13^o, dan 15^o.
2. Variabel kontrol
 1. Kecepatan aliran fluida 0.25 m/s.
 2. Luas penampang kanal 0,04 m² pada masing-masing variasi pengujian.
 3. Dimensi basin.
3. Variabel terikat
 1. Fenomena aliran meliputi kontur kecepatan dan kontur tekanan.
 2. Performansi turbin vortex meliputi Torsi, Putaran, Daya turbin, dan Efisiensi.

Prosedur penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Simulasi turbin vortex tanpa runner
 - o Membuat geometri turbin vortex menggunakan Solidwork Pro 2022
 - o Pendefinisian model pada spaceclaim.
 - o Meshing menggunakan Fluent Meshing dengan input seperti pada table 2.

Tabel 2 Meshing

No	Meshing	Type/Quality
1	Mesh	Poly-hexacore
2	Skewness	Good (<0,8)
3	Orthogonal	Good (>0,20)
4	Minimum Size	1 mm
5	Maximum Size	7 mm
6	Size Functions	Curva & Proximity
7	Size Method	Global

- o Melakukan setup, dimana pada *general* untuk *gravitational acceleration* diisi 9.8 m/s². Kemudian pada models menggunakan *SST k-omega* untuk turbulensinya. Pada material, memasukan jenis fluida yang digunakan yaitu *water-liquid* (H₂O). Parameter *water-liquid* ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3 Parameter *water liquid*

Massa jenis	Konstan	998,2 kg/m ³
Viskositas	konstan	0,001003 kg/m.s

- o Input material *name water-liquid* pada bagian *cellzone condition*.
 - o Pada bagian metode memilih *scheme SIMPLE*.
 - o Pada *report definition* memilih data yang dibutuhkan yaitu kecepatan tangensial.
 - o Kalkulasi simulasi aliran turbin *vortex* pada Ansys Fluent.
 - o Memverifikasi hasil simulasi dengan nilai residual < 10⁻³
 - o Melakukan *post processing* dan analisis data simulasi
2. Simulasi turbin vortex dengan runner
- Membuat geometri turbin *vortex* menggunakan Solidwork Pro 2022.
 - Pendefinisain model pada *spaceclaim*.
 - Meshing pada geometri turbin *vortex* dengan Fluent with Meshing 2023 R1. Parameter *meshing* ditunjukkan pada tabel 1.
 - Setup, dimana pada *general* untuk *gravitational acceleration* di isi 9.813 m/s². Kemudian pada models menggunakan *SST k-omega* untuk turbulensinya. Memasukkan jenis fluida yang digunakan yaitu *water-liquid* (H₂O).
 - Setup di *cell zone condition*. pada bagian domain berputar mengubah material menjadi *water liquid*, menghidupkan *frame motion* dan memberikan nilai *rotational velocity*. Kemudian pada domain statik hanya mengubah material menjadi *water liquid*.

- Setup *boundary conditions* berupa *velocity inlet* dan *hydraulic diameter* pada inlet.
- Pada bagian metode memilih *scheme SIMPLE*
- Pada *report definition* memilih data yang dibutuhkan yaitu torsi.
- Kalkulasi untuk simulasi pada turbin *vortex*.
- Memverifikasi hasil simulasi dengan nilai residual < 10⁻³
- Menganalisi data yang didapatkan

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Simulasi turbin vortex tanpa runner

Kualitas mesh, residual, dan konvergensi ditunjukkan pada Tabel 4, Tabel 5 dan Gambar 3.

Tabel 4 Hasil *meshing*

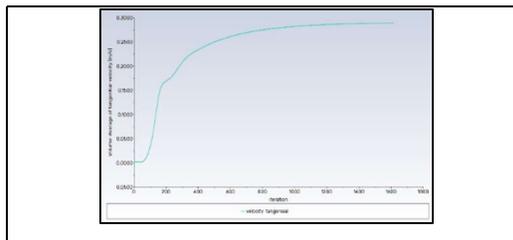
Sudut takik	Maximum skewness	Minimum orthogonality	Jumlah Cells	Kualitas Mesh
7°	0.42557029	0.20	305402	Good
9°	0.67648651	0.21	302469	Good
11°	0.74409132	0.20	300792	Good
13°	0.72002313	0.20	297942	Good
15°	0.60495227	0.21	298906	Good

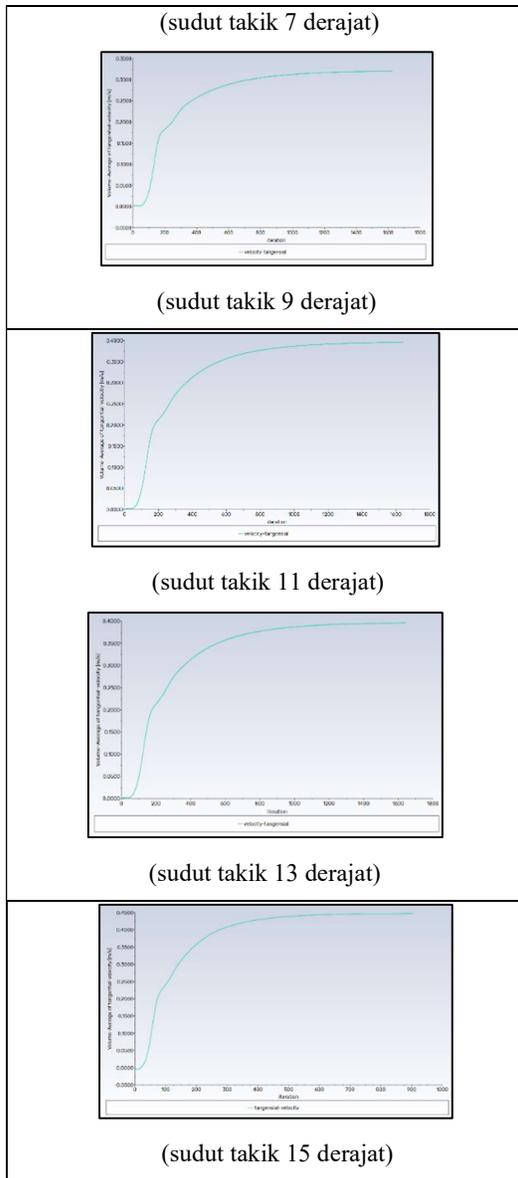
Hasil *meshing* setiap variasi telah mencapai target *meshing* yang diinginkan.

Tabel 5 Hasil residual

Sudut Takik	continuity	x-velocity	y-velocity	z-velocity	k	omega
7°	1.5e-06	1.7e-06	4.5e-07	1.6e-06	9.9e-06	3.3e-06
9°	1.4e-06	1.6e-06	3.8e-07	1.6e-06	9.9e-06	3.0e-06
11°	2.5e-06	1.6e-06	3.4e-07	1.5e-06	9.9e-06	2.9e-06
13°	1.9e-06	1.4e-06	2.6e-07	1.4e-06	9.9e-06	2.4e-06
15°	8.5e-07	7.8e-07	1.1e-07	7.7e-07	9.9e-06	1.8e-06

Hasil residual menunjukkan nilai eror yang ingin dicapai pada setiap variasi.





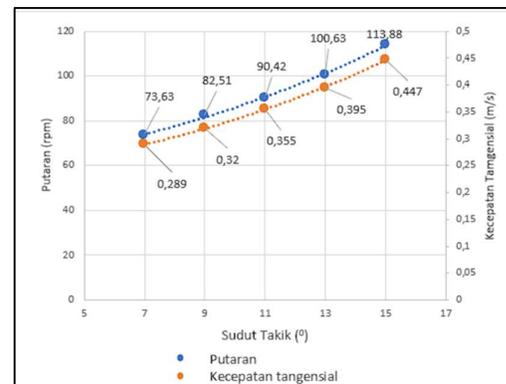
Gambar 2 Konvergensi

Pada gambar 2 menunjukkan grafik konvergensi dimana semakin datar maka semakin cepat mencapai nilai konvergensi yang diinginkan.

Hasil simulasi turbin vortex tanpa runner didapatkan kecepatan tangensial yang dapat dikonversikan dengan persamaan 2.1 menjadi putaran (rpm). berikut merupakan table data kecepatan tangensial dan putaran.

Tabel 6 Velocity tangensial dan putaran

Sudut Takik (°)	Velocity Tangensial (m/s)	Putaran (Rpm)
7 °	0,289	73,63
9 °	0,320	81,52
11°	0,355	90,42
13°	0,395	100,63
15°	0,447	113,88



Gambar 3 Grafik velocity tangensial dan putaran

Pada Gambar 3 Terlihat grafik putaran dan kecepatan tangensial menunjukkan trend naik ini disebabkan oleh sudut takik yang semakin besar. karena semakin besar sudut takik maka area penampang aliran sebelum masuk ke basin semakin mengecil sehingga menyebabkan meningkatnya kecepatan aliran dan membuat aliran vortex yang ada pada basin semakin baik pula.

4.2. simulasi turbin vortex dengan runner

Kualitas mesh, residual, dan konvergensi ditunjukkan pada Tabel 7, Tabel 8 dan Gambar 4.

Tabel 7 Hasil meshing

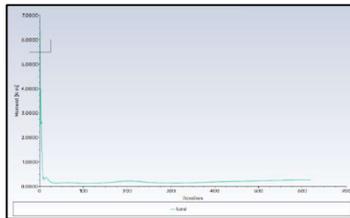
Sudut takik (°)	Maximum skewness	Minimum orthogonality	Jumlah Cell	Kualitas
7	0.73376126	0.20	728567	Good
9	0.76574752	0.20	738905	Good
11	0.71115081	0.20	731441	Good
13	0.74023471	0.20	732365	Good
15	0.61041917	0.20	708937	Good

Hasil meshing setiap variasi telah mencapai target meshing yang diinginkan.

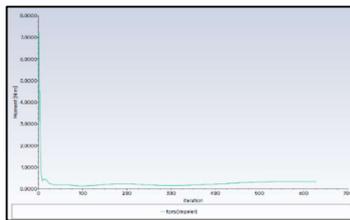
Tabel 8 Hasil residual

Sudut Takik	continuity	x-velocity	y-velocity	z-velocity	k	omega
7°	2.7e-05	1.8e-04	1.5e-04	1.8e-04	9.9e-04	4.7e-04
9°	2.9e-05	1.9e-04	1.5e-04	1.9e-04	9.9e-04	4.9e-04
11°	2.8e-05	1.3e-04	1.2e-04	1.4e-04	9.9e-04	4.5e-04
13°	4.3e-05	1.6e-04	1.8e-04	1.8e-04	9.9e-04	6.3e-04
15°	3.4e-05	1.4e-04	1.2e-04	1.4e-04	9.9e-04	5.4e-04

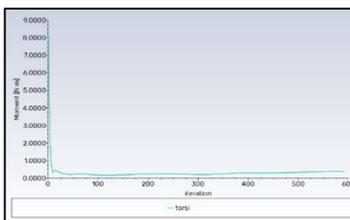
Hasil residual menunjukkan nilai eror yang ingin dicapai pada setiap variasi.



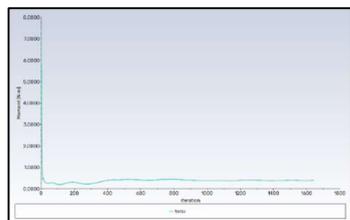
(sudut takik 7 derajat)



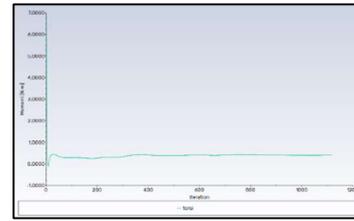
(sudut takik 9 derajat)



(sudut takik 11 derajat)



(sudut takik 13 derajat)



(sudut takik 15 derajat)

Gambar 4 Konvergensi

Pada gambar 4 menunjukkan grafik konvergensi dimana semakin datar maka semakin cepat mencapai nilai konvergensi yang diinginkan.

4.3 Performa turbin vortex

Performa turbin menjadi hal yang penting dalam penelitian ini untuk menjawab rumusan masalah yang ada. Performa turbin vortex pada penelitian ini diantaranya meliputi torsi, daya input, daya output, dan efisiensi. Berikut merupakan tabel data performa dari turbin vortex dengan runner.

Tabel 9 Torsi dan daya input

Sudut Takik	Torsi (Nm)	Daya Input
7°	0,227	79,31
9°	0,334	79,31
11°	0,371	79,31
13°	0,397	79,31
15°	0,407	79,31

Tabel 10 Daya output

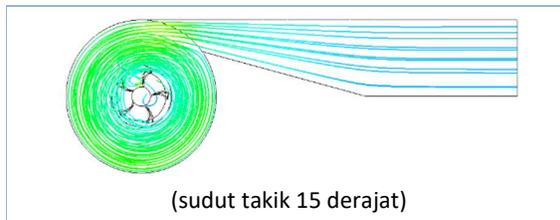
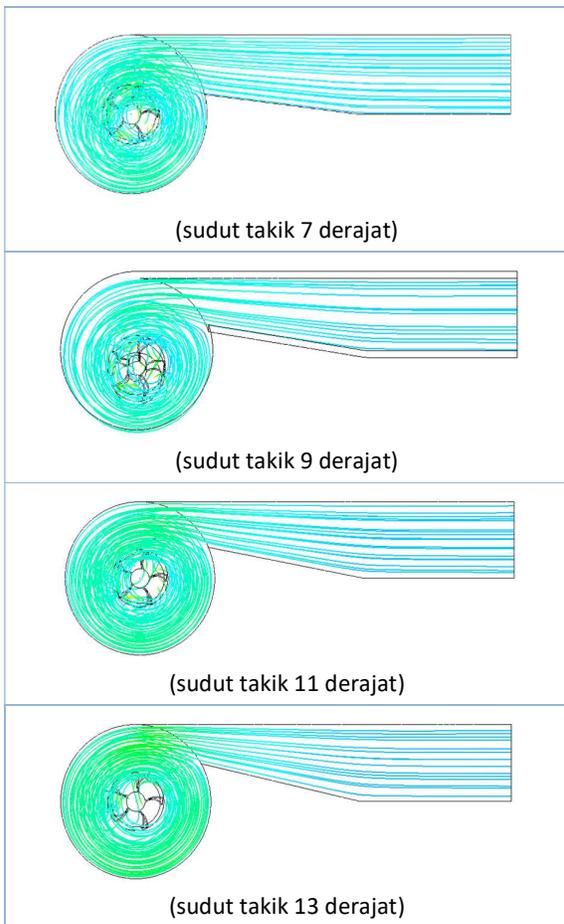
Sudut Takik	Daya Output (watt)
7°	2,134
9°	2,849
11°	3,511
13°	4,181
15°	4,851

Tabel 11 Efisiensi Turbin Vortex

Variasi Sudut Takik	Efisiensi (%)
7°	2,69%
9°	3,59%
11°	4,42%
13°	5,27%
15°	6,11%

4.4 Pola aliran turbin vortex

Pola aliran air ditunjukkan oleh streamline hasil simulasi. Aliran fluida yang baik terlihat dari rapatnya dan teratur bentuk dari streamline pada area sudut takik maupun basin. Pola aliran yang baik diharapkan dapat memutar runner secara optima. Pola aliran paling optimal terjadi pada variasi sudut takik 15°. Hal ini ditunjukkan dengan kecepatan aliran yang tinggi sehingga efisiensi dari turbin *vortex* memiliki nilai yang paling tinggi diantara variasi yang lain yaitu senilai 6,11%



Gambar 5 Streamline

5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian simulasi CFD turbin *vortex* variasi tinggi basin 390mm, 400mm, 410mm, 420mm, dan 430mm maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut

1. Sudut takik yang membesar menyebabkan kontur kecepatan meningkat dan kontur tekanan mengalami penurunan.
2. Performa turbin meningkat dengan semakin membesarnya sudut takik. Pada penelitian ini nilai torsi, daya output dan efisiensi tertinggi terdapat pada variasi sudut takik 15 derajat dengan nilai 0,407 Nm, 4,851 Watt dan 6,11%. Nilai torsi, daya output dan efisiensi terendah terdapat pada variasi sudut takik 7 derajat dengan nilai 0,227 Nm, 2,134 Watt dan 2,69%.

Daftar Pustaka

- Acharya, S., Kumar Ghimire, S., & Dura, H. B. 2019, *Design Study of Runner for Gravitational Water Vortex Power Plant with Conical Basin*.
- Gusti Muttaqin, I., Sucipta, M., & Suarda, M. 2022, simulasi Computational Fluid Dynamic Pada model turbin *Vortex* variasi kecepatan rotasi runner. *SIBATIK JOURNAL: Jurnal Ilmiah Bidang Sosial, Ekonomi, Budaya, Teknologi, Dan Pendidikan*, 1(8), 1445–1454.
- Dhakal, R., Bajracharya, T. R., Shakya S. R., Kumal, B., Khanal, k., Williamson, S. J., Gautam S., & Ghale D. P. 2018. *Computational and Experimental Investigation of Runner for Gravitational Water Vortex Power Vortex Power Plant*.



Ishak Danus

menyelesaikan program sarjana di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana pada tahun 2024.

Judul tugas akhir kajian simulasi computational fluid dynamics pola aliran air dalam turbin vortex pada variasi sudut takik

PENGARUH VARIASI VOLUME PADA BIOPLASTIK SARI PATI KENTANG BERPENGUAT SERBUK KAYU JATI TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN STRUKTUR MIKRO

Gede Bagus Santika Wijaya, Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati, Ketut Astawa

Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Banyak penelitian telah dilakukan untuk mengurangi penggunaan plastik sintetis dengan mengembangkan bioplastik dari polimer alami seperti protein, pati, dan bakteri. Potensi besar pati di Indonesia mendorong peluang pengembangan bioplastik berbahan pati. Penelitian ini menggunakan pati dari kentang sebagai bahan dasar pembuatan bioplastik. Sebagai salah satu komponen penyusun biokomposit, serbuk digunakan dalam penelitian ini, dan serbuk yang digunakan adalah serbuk kayu jati yang merupakan limbah dari industri furniture. Komposisi yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan perbandingan variasi volume 95% sari pati kentang : 5% serbuk kayu jati, 90% sari pati kentang : 10% serbuk kayu jati dan 85% sari pati kentang : 15% serbuk kayu jati. Metode pengujian yang digunakan adalah uji tarik menggunakan ASTM 3039 dan foto mikro. Pada pengujian tarik didapatkan nilai tegangan, regangan dan modulus elastisitas. Nilai rata-rata tegangan tarik mengalami peningkatan dengan nilai tertinggi pada variasi volume 15% serbuk sebesar 3,129 MPa. Nilai regangan tarik rata-rata tertinggi pada variasi 10% serbuk dengan nilai 1,648. Nilai modulus elastisitas tertinggi terdapat pada variasi 15% dengan rata-rata 1,431 GPa. Dengan demikian dapat disimpulkan bioplastik sari pati kentang dengan variasi 15% memiliki nilai kekuatan tarik tertinggi.

Kata kunci: Bioplastik, Sari Pati Kentang, Serbuk Kayu, Kayu Jati, Variasi Volume, Uji Tarik, Foto Mikro.

Abstract

Many studies have been conducted to reduce the use of synthetic plastics by developing bioplastics from natural polymers such as protein, starch, and bacteria. The great potential of starch in Indonesia encourages opportunities for the development of bioplastics made from starch. This research uses starch from potatoes as the basic material for making bioplastics. As one of the constituent components of biocomposites, powder is used in this study, and the powder used is jati wood powder which is waste from the furniture industry. The composition used in this study is with a volume fraction ratio of 95% potato starch : 5% jati wood powder, 90% potato starch : 10% jati wood powder and 85% potato starch : 15% jati wood powder. The test methods used were tensile tests using ASTM 3039 and micro photographs. In tensile testing, the values of stress, strain and modulus of elasticity were obtained. The average value of tensile stress increased with the highest value at 15% powder volume variation of 3.129 MPa. The highest average tensile strain value was in the 10% powder variation with a value of 1.648. The highest elastic modulus value was found in the 15% variation with an average of 1.431 GPa. Thus it can be concluded that the biocomposite with 15% variation has the highest tensile strength value.

Keywords: Bioplastic, Potato Starch, Wood Powder, Volume Variation, Tensile Test, Micro Photograph

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara dengan jumlah penduduk terpadat ke-4 di dunia. Menurut data [1], terdapat 278,69 juta jiwa pada pertengahan tahun, angka tersebut naik 1,05% dari tahun sebelumnya. Jumlah penduduk yang padat di Indonesia, tentunya penggunaan plastik sangat banyak dalam memenuhi kebutuhan sehari-hari, seperti botol kemasan, wadah peralatan makan, furnitur, konstruksi, dll. Selain itu, harga terjangkau dan memiliki sifat ringan menjadi pilihan masyarakat Indonesia. Namun, selain peranan plastik yang begitu penting dalam masyarakat, plastik menyebabkan limbah. Limbah plastik di Indonesia mencapai 34.439.338,12 ton [2]. Dengan banyaknya limbah plastik mengakibatkan pencemaran lingkungan dan berdampak pada kesehatan.

Plastik adalah material organik sintetis atau semi sintetis yang berasal dari minyak bumi dan gas alam, penggunaan plastik yang meluas dikarenakan sifatnya

yang fleksibel, transparan, tidak mudah pecah, tidak korosif, dll. Namun, dampak banyaknya penggunaan plastik sintetis ini disebabkan dari segi pengelolaannya yang kurang tepat, sebab plastik merupakan material yang tidak bisa terdekomposisi secara alami sehingga dapat mencemari lingkungan dan berdampak pada kesehatan masyarakat. Upaya mengurangi plastik sintetis sudah dilakukan dengan banyaknya penelitian untuk membuat bioplastik dari beberapa polimer alami, seperti protein, pati dan bakteri. Mengingat potensi pati di Indonesia yang cukup besar sehingga pengembangan bioplastik berbahan pati berpotensi dilakukan. Pati yang digunakan pada penelitian ini untuk pembuatan bioplastik adalah pati dari kentang.

Serat sebagai salah satu penyusun material komposit yang mempunyai fungsi sebagai penguat, dalam hal ini serat yang dipergunakan adalah berupa serbuk kayu yang merupakan limbah dari industri furniture. Limbah serbuk kayu selama ini belum

termanfaatkan secara optimal. Beberapa penelitian terdahulu mengkaji pemanfaatan limbah serbuk kayu untuk pembuatan briket arang, untuk pembuatan kompos, untuk media tanam jamur kuping. Serbuk yang digunakan pada penelitian ini adalah serbuk kayu Jati.

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah mengetahui pengaruh variasi volume pada biokomposit serbuk kayu jati - bioplastik sari pati kentang terhadap kekuatan tarik dan morfologi biokomposit serbuk kayu jati - bioplastik sari pati kentang.

Dalam hal ini maka ada beberapa permasalahan yang akan dikaji, yaitu:

1. Bagaimana pengaruh variasi volume pada bioplastik serbuk kayu jati – bioplastik sari pati kentang terhadap kekuatan tarik.
2. Bagaimana morfologi variasi volume pada bioplastik serbuk kayu jati – bioplastik sari pati kentang.

Beberapa batasan juga ditetapkan dalam penelitian ini seperti:

1. Parameter lingkungan tertentu seperti suhu dan kelembaban di asumsikan homogen.
2. Proses pengadukan bahan diasumsikan sudah homogen.
3. Proses pencetakan spesimen diasumsikan tekanan merata dan sama besar.
4. Ukuran partikel serbuk yang digunakan dianggap sama.

2. Dasar Teori

2.1 Komposit

Komposit merujuk pada gabungan material yang dipilih berdasarkan karakteristik fisik masing-masing komponen untuk menciptakan material baru dengan karakteristik khusus yang berbeda dari bahan dasarnya sebelum dicampur, serta terdapat interaksi permukaan antara setiap komponen material. [3].

Berdasarkan komponen strukturalnya, bentuk komponen utama yang digunakan dalam material komposit menjadi tiga kelas [4].

1. Komposit Serat (*Fibricus Composite*) adalah komposit yang hanya terdiri satu lapisan dan menggunakan serat atau fiber sebagai penguat.
2. Komposit laminat adalah komposit yang tersusun dari dua atau lebih bahan yang digabungkan secara bersama-sama.
3. Komposit partikel adalah komposit yang terbuat dari partikel atau serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matriksnya.

2.2 Matriks

Salah satu matriks alami di kenal dengan sebutan bioplastik, bioplastik adalah plastik ramah lingkungan, dapat terurai oleh aktivitas mikroorganisme, yang sebagian atau hampir seluruh komponennya berasal dari bahan baku yang dapat diperbaharui [5]. Dengan adanya kandungan pati, minyak nabati dan mikrobiota dimana pada saat kondisi tertentu dan waktu tertentu dapat mengalami perubahan. Jadi, bioplastik merupakan jenis plastik yang ramah lingkungan.

Menurut [6] bioplastik adalah plastik yang dapat digunakan layaknya plastik pada umumnya, namun mudah diurai oleh mikroorganisme setelah dibuang ke lingkungan dengan akhir berupa air dan gas karbon dioksida. Bahan-bahan yang digunakan dalam membuat bioplastik adalah senyawa-senyawa yang terdapat pada tanaman seperti pati, selulosa, kolagen, kasein dan protein serta pada hewan seperti kitosan, kasein dan kitin [7]. Polisakarida yang ada dalam hasil pertanian terdapat dalam berbagai bentuk, seperti pati dan glukomanan [8]. Bioplastik yang digunakan pada penelitian ini adalah pati kentang.

2.3 Penguat (Serbuk Kayu)

Penguat adalah salah satu bagian dari komposit yang memiliki peran untuk menahan beban yang diterima dari material komposit sehingga mengakibatkan tinggi rendahnya kekuatan komposit bergantung pada penguat yang digunakan. Penguat yang digunakan pada penelitian ini adalah serbuk kayu Jati.

Kayu jati banyak diminati banyak orang sejak dahulu karena memiliki ketahanan yang kuat, corak yang unik dan mudah dikerjakan. Pengolahan kayu ini banyak diolah seperti mebel taman, mebel interior, kerajinan, panel dan anak tangga yang berkelas. Kayu jati tumbuh di daerah dengan musim kemarau yang panjang pada tanah sedikit kering atau sangat kering, sampai ketinggian kurang lebih 650 m diatas permukaan laut.

Tabel 2.1 Tabel Karakteristik Kayu Jati (Sumber : Fengel dkk, 1995)

No	Sifat	Satuan	Nilai
1.	Berat Jenis	kg/m ³	0,62-0,75
2.	Modulus elastisitas	kg/mm ³	127700
3.	Serabut	%	66,3
4.	Kerapatan	kg/m ³	0,44
5.	Nilai Kalor	kal/g	5081

Serbuk gergaji merupakan butiran-butiran halus yang terbuang saat kayu dipotong sesuai dengan ukuran atau proses penghalusan kayu dan butiran ini bobotnya sangat ringan. Biasanya serbuk kayu akan dibuang yang mengakibatkan penumpukan, namun ternyata serbuk kayu dapat digunakan sebagai media tanam, bahan baku furniture, dan bahan baku dalam pembuatan papan partikel komposit guna meningkatkan nilai ekonomis dari serbuk gergaji.

2.4 Biokomposit

Biokomposit terdiri dari dua kata “Bio” dan “Composite”. Makna Bio berarti suatu bahan yang berasal dari makhluk hidup (bahan tumbuhan) seperti hutan, pertanian dan kebun binatang. Sedangkan Composite merupakan suatu gabungan antara dua atau lebih bahan material yang akan digabungkan oleh matrik. Biokomposit adalah sebuah bahan yang dibentuk oleh matriks (resin) dan penguat serat alami (biasanya berasal dari tumbuhan atau selulosa).

Beberapa bahan alami memiliki karekateristik sebagai matriks alami yang di kenal dengan istilah bioplastik.

2.5 Fraksi Volume

fraksi volume lebih banyak digunakan dalam formulasi kekuatan komposit hal ini dikarenakan tingkat keakuratan dalam perhitungan lebih baik, lebih mudah menentukan nilai perbandingan antara serat dan matriks . Fraksi volume dapat dilakukan dengan perhitungan fraksi volume serat 5%, 10%, 15% dapat ditulis sebagai berikut :

- Volume Cetakan

$$V_c = p \times l \times t$$

Keterangan :

V_c = Volume cetakan.

p = Panjang cetakan.

l = Lebar cetakan.

t = Tinggi cetakan.

- Volume Serat (V_f)

$$V_f = \text{Variasi volume serbuk (\%)} \times V_c$$

- Berat Serat (B_f)

$$B_f = V_f \times \rho_f$$

- Berat matriks (V_m)

$$V_m = V_c - V_f$$

- Berat matriks (B_m)

$$B_m = V_m \times \rho_m$$

Keterangan :

ρ_f = Massa jenis serat (gr/cm^3)

ρ_m = Massa jenis resin campuran (gr/cm^3)

V_c = Volume cetakan (cm^3)

V_m = Volume matrik (cm^3)

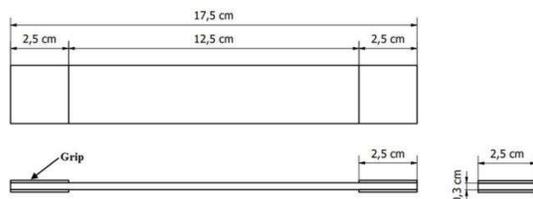
V_f = Volume serat (cm^3)

B_f = Berat serat (gr)

B_m = Berat matrik (gr)

2.6 Uji Tarik

Pengujian tarik merupakan metode evaluasi material yang bertujuan untuk menentukan parameter-parameter seperti kekuatan tarik, regangan, dan tegangan yang terjadi pada material tersebut. Prosedur pengujian ini mengacu pada standar ASTM D 3039. Selama pengujian, observasi dilakukan terhadap kenaikan beban dan perubahan panjang secara terus-menerus pada sampel yang diujikan. Bentuk sampel uji tarik disesuaikan dengan ketentuan yang terdapat dalam ASTM D3039. yang ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 2.4 Spesimen Uji Tarik (ASTM D3039)
(Sumber:Www.Zwickroell.Com)

Pengujian tarik menghasilkan nilai kekuatan tarik maksimum dan regangan yang terjadi:

- Tegangan maksimum yang terjadi dihitung dengan persamaan :

$$\sigma = \frac{p}{A_0}$$

- Regangan maksimum yang terjadi dihitung dengan persamaan :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100$$

- Modulus elastis yang terjadi dihitung dengan persamaan :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Keterangan :

σ = Tegangan Tarik (Mpa)

ε = Regangan (%)

P = Beban (N)

A_0 = Luas Penampang Spesimen Mula-mula (mm^2)

L_0 = Panjang Spesimen Awal Pengujian (mm)

ΔL = Panjang Spesimen Akhir Pengujian (mm)

E = Modulus Elastisitas (GPa)

2.7 Pengamatan Foto Mikro

Penggunaan teknik pengamatan foto mikro adalah suatu metode yang umum digunakan dalam penelitian morfologi permukaan sampel bahan. Teknik ini memungkinkan penciptaan gambar permukaan komposit pada perbesaran tertentu sesuai kebutuhan. Observasi mikroskopis komposit juga dapat mengungkapkan berbagai aspek, seperti bentuk permukaan, pola kegagalan, porositas, serta kepadatan material tersebut. Proses pengamatan ini dilakukan di lingkungan laboratorium Metalurgi Teknik Mesin Universitas Udayana.

3. Metode Penelitian

3.1 Proses Pembuatan Spesimen

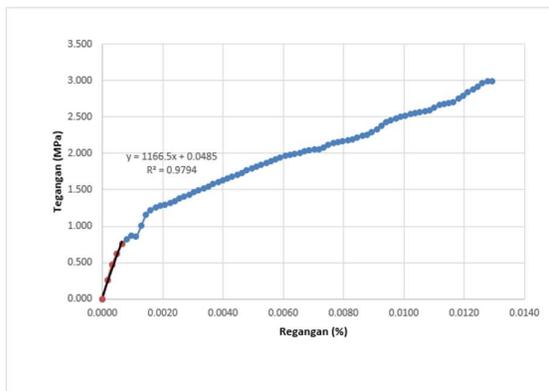
- Siapkan bahan penelitian (tepung pati kentang, hardener, gliserol, dan serbuk kayu jati) dan alat-alat penelitian.
- Timbang serbuk kayu jati dan masukkan tepung pati kentang, aquades, hardener dan gliserol ke dalam gelas beaker 500 ml sesuai dengan variasi volume yang ditentukan (5% : 95%, 10% : 90%, 15% : 85%).
- Letakkan gelas beaker ke hotplate magnetic stirrer, lalu atur dan jaga suhu pada hotplate magnetic stirrer agar tetap pada suhu $170^\circ C$.
- Aduk campuran tersebut hingga berbentuk gel dan bening. Setelah itu masukkan serbuk kayu jati ke campuran sudah berbentuk gel.
- Setelah campuran matriks pati kentang dan serbuk kayu jati sudah merata, masukkan campuran tersebut ke dalam cetakan secara merata dengan menggunakan metode hand lay-up.
- Tutup cetakan dan berikan tekanan agar spesimen terbentuk secara merata.
- Setelah kering, lepaskan spesimen dari cetakan.
- Potong spesimen sesuai bentuk ASTM yang telah ditentukan.
- Spesimen siap diuji.

4. Hasil dan Pembahasan

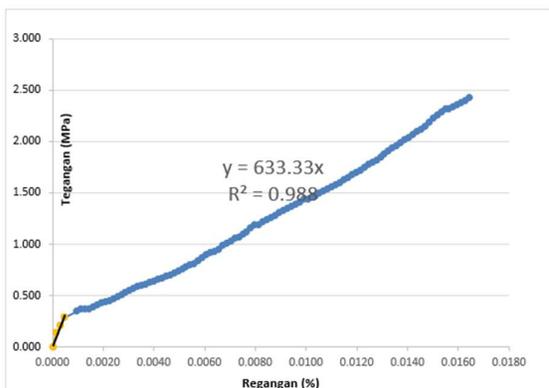
4.1. Data Hasil Uji Tarik

Luas Penampang Spesimen Mula-mula

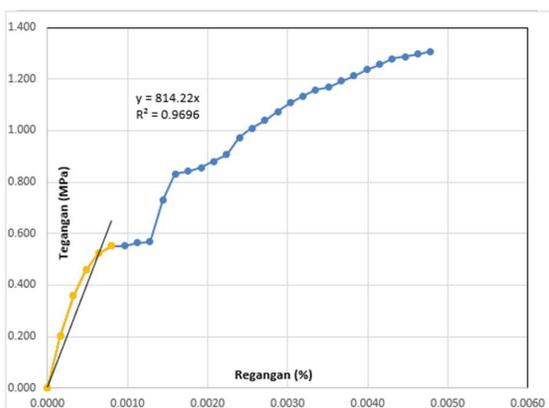
$$A_0 = l \times t = 25 \text{ mm} \times 3 \text{ mm} = 75 \text{ mm}^2$$



Gambar 4.1 Kurva Tegangan-Regangan Tarik spesimen 1 variasi 15% serbuk.



Gambar 4.2 Kurva Tegangan-Regangan Tarik spesimen 1 variasi 10% serbuk.



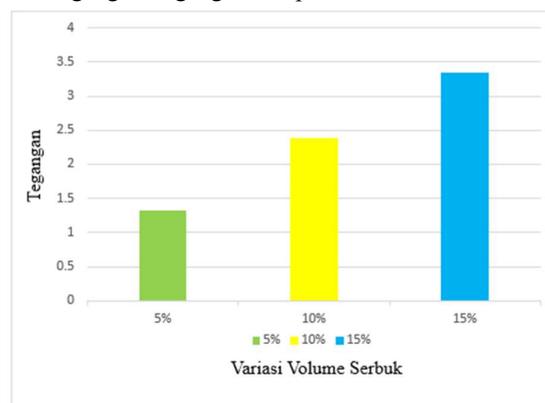
Gambar 4.3 Kurva Tegangan-Regangan Tarik spesimen 1 variasi 5% serbuk.

Tabel 4.1 Tabel Data Hasil Uji Tarik

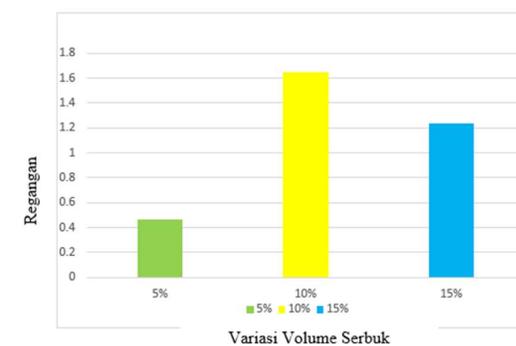
Penguujian Tarik			
Komposisi	Tegangan _{ult} (MPa)	Regangan _{ult} (%)	Modulus Elastisitas (GPa)
95% Matriks : 5% Penguat	1. 1,307	1. 0,478	1. 0,814
	2. 1,278	2. 0,415	2. 0,963
	3. 1,378	3. 0,495	3. 0,341
	Rata-rata 1,321	Rata-rata 0,462	Rata-rata 0,706
90% Matriks : 10% Penguat	1. 2,432	1. 1,643	1. 0,633
	2. 2,353	2. 1,627	2. 0,703
	3. 2,366	3. 1,675	3. 0,969
	Rata-rata 2,383	Rata-rata 1,648	Rata-rata 0,770
85% Matriks : 15% Penguat	1. 3,606	1. 1,021	1. 1,606
	2. 2,994	2. 1,292	2. 1,166
	3. 3,417	3. 1,133	3. 1,709
	Rata-rata 3,339	Rata-rata 1,234	Rata-rata 1,493

4.2 Pembahasan Hasil Uji Tarik

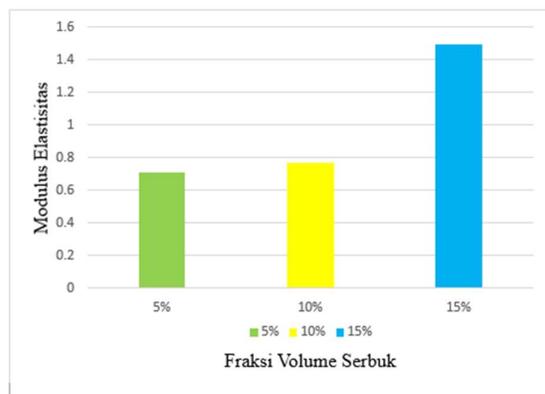
Data hasil uji tarik kemudian disatukan kedalam bentuk diagram batang untuk menunjukkan rata-rata dari tegangan, regangan maupun modulus elastisitas.



Gambar 4.4 Diagram Tegangan Tarik



Gambar 4.5 Diagram Regangan Tarik



Gambar 4.6 Diagram Modulus Elastisitas

Dapat dilihat data pada gambar 4.1 diagram tegangan tarik menunjukkan bahwa biokomposit dengan 5% serbuk kayu jati memiliki nilai kekuatan tarik paling rendah dengan rata-rata 1,321 MPa, lalu biokomposit dengan 15% serbuk kayu jati memiliki nilai dengan rata-rata 2,383 MPa, dan biokomposit dengan 15% serbuk kayu jati memiliki nilai paling tinggi dengan rata-rata 3,129 MPa. Kekuatan tarik meningkat karena peningkatan jumlah serbuk kayu dalam bioplastik sari pati kentang, sehingga ikatan antara matriks dengan serbuk kayu menjadi lebih kokoh. Selain itu, beban yang diterima oleh spesimen tidak hanya disalurkan ke matriks, melainkan juga didistribusikan merata pada serbuk.

Berdasarkan data pada gambar 4.2 diagram regangan tarik bahwa bioplastik dengan 5% serbuk kayu jati memiliki nilai regangan paling rendah dengan rata-rata 0,441%, lalu bioplastik dengan 10% serbuk kayu jati memiliki nilai regangan paling tinggi dengan rata-rata 1,313%, dan bioplastik dengan 15% serbuk kayu jati memiliki nilai regangan 1,132%.

Pada diagram modulus elastisitas yang dapat dilihat pada gambar 4.3 variasi biokomposit dengan 5% serbuk kayu jati memiliki nilai rata-rata modulus elastisitas paling kecil yaitu 0,706 GPa, lalu disusul dengan variasi 10% serbuk kayu jati memiliki nilai rata-rata modulus elastisitas 0,77 GPa, dan variasi 15% serbuk kayu jati memiliki nilai rata-rata modulus elastisitasnya paling tinggi yaitu 1,493 GPa. Dengan demikian, peningkatan presentase serbuk kayu jati dalam biokomposit cenderung meningkatkan nilai rata-rata modulus elastisitasnya.

4.7 Data Hasil Foto Mikro

Setelah pengambilan data foto mikro dari hasil permukaan patahan spesimen uji. Berikut hasil foto mikro :



Gambar 4.7 Foto Mikro Variasi Volume 5% Serbuk Kayu Jati Perbesaran 10x

Pada variasi volume 5% serbuk terlihat banyaknya void, ini merupakan faktor-faktor indikator penurunan efektifitas bioplastik dalam mendistribusikan beban.



Gambar 4.8 Foto Mikro Variasi Volume 10% Serbuk Kayu Jati perbesaran 10x

Pada variasi volume 10% terlihat *crack* yang cukup panjang, itu merupakan indikasi bahwa ikatan antara matriks dan serbuk masih lemah saat menerima pembebanan.



Gambar 4.9 Foto Mikro Variasi Volume 15% Serbuk Kayu Jati perbesaran 10x

Pada variasi volume 15% jumlah *void* terlihat lebih sedikit yang mengindikasikan bahwa peningkatan efektifitas bioplastik dalam menyalurkan beban.

5. Penutup

5.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan penelitian yang telah penulis lakukan mengenai pengaruh variasi volume bioplastik sari pati kentang berpenguat serbuk kayu jati, maka dapat disimpulkan :
2. Pada pengujian tarik didapatkan nilai tegangan, regangan dan modulus elastisitas. Nilai rata-rata tegangan tarik mengalami peningkatan dengan nilai tertinggi pada variasi volume 15% serbuk sebesar 3,129 MPa dan nilai terendah pada variasi volume 5% serbuk sebesar 1,321 MPa. Nilai regangan tarik rata-rata tertinggi pada variasi 10% serbuk dengan nilai 1,313. Nilai modulus elastisitas tertinggi terdapat pada variasi 15% dengan rata-rata 1,431 GPa dan nilai terendah terdapat pada variasi 10% dengan rata-rata 0,607 GPa. Dengan demikian dapat disimpulkan bioplastik dengan variasi 15% memiliki nilai kekuatan tarik tertinggi. Selain itu, beban yang diterima oleh spesimen tidak hanya disalurkan ke matriks, melainkan juga didistribusikan merata pada serbuk.
3. Hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa biokomposit yang memiliki variasi volume serbuk 15% menunjukkan ikatan yang lebih baik antara matriks dan serbuk dibandingkan dengan variasi volume 5% dan

10% serbuk. Dengan demikian, variasi volume yang menggunakan 15% serbuk menunjukkan kekuatan tarik yang lebih unggul.

5.2 Saran

1. Penelitian baru ini mengenai bioplastik yang menggunakan matriks sari pati kentang dan serbuk kayu jati sebagai penguat. Harapannya, penelitian berikutnya akan menguji berbagai variabel yang mempengaruhi proses ini untuk mencapai hasil yang optimal dalam pengujian.
2. Untuk meningkatkan kekuatan bioplastik perlu dilakukan dengan menambahkan variasi mass pada serbuk kayu atau menggunakan serbuk kayu yang lain.
3. Ketelitian dalam memilih dan menerapkan metode cetak dapat membantu mengurangi pembentukan ruang kosong (void).



Gede bagus santika wijaya menyelesaikan studi S1 di Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana pada tahun 2024..

Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan rekayasa manufaktur khususnya *Biokomposit*.

Daftar Pustaka

- [1] Badan Pusat Statistik, (2022), 'Statistik Indonesia Statistical Yearbook of Indonesia 2022', BPS.
- [2] Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional, (2022) 'Capaian Kinerja Pengelolaan Sampah', SIPSN.
- [3] Gibson, R.F, (1994), '*Principles of composite material mechanics*', McGraw-Hill, USA
- [4] Schwartz M. (1984), '*Composite Materials Handbook*', McGraw-Hill, NewYork, USA.
- [5] Agustin, YE & Padmawijaya, KS (2016), 'Sintesis Bioplastik dari Kitosan-Pati Kulit Pisang Kepok dengan Penambahan Zat Aditif', Jurnal Teknik Kimia, vol. 6, no. 1.
- [6] Pranamuda, H. (2006) 'Pengembangan Bahan Plastik Biodegradable Berbahan Baku Pati tropis' Majalah ilmiah Biology Resources. Universitas negeri Semarang, Semarang.
- [7] Sanjaya and Puspita (2011) 'Pengaruh Penambahan Khitosan dan Plasticizer Gliserol Pada Karakteristik Plastik Biodegradable dari Pati Limbah Kulit Singkong '.
- [8] Pradipta dan Mawarani, (2012) 'Pembuatan Dan Karakterisasi Polimer Ramah Lingkungan Berbahan Dasar Glukomanan Umbi Porang'

Pengaruh Fraksi Volume pada *Green Composite* Serat Bambu dengan Matriks Sari Pati Kentang Terhadap Stabilitas Termal Melalui Uji TGA

Kimi Obelix Castafiore, Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati, dan Ketut Astawa

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Strategi penggunaan isolator termal yang efektif dapat menjadi solusi untuk mengurangi konsumsi energi pada bangunan dengan mengurangi kerugian energi akibat perpindahan panas. Namun, kebanyakan isolator termal saat ini terbuat dari bahan petrokimia yang berpotensi merusak lingkungan sehingga penggunaan bahan ramah lingkungan seperti *green composite* serat bambu dengan matriks sari pati kentang dapat menjadi alternatif. Penelitian menggunakan matriks sari pati kentang dan serat bambu sebagai penguat. Komposisi antara sari pati kentang dan serat bambu menggunakan fraksi volume 5% serat bambu : 95% sari pati kentang, 7,5% serat bambu : 92,5% sari pati kentang, 10% serat bambu : 90% sari pati kentang. Metode pengujian termal yang digunakan dalam penelitian ini adalah uji TGA (Thermogravimetry Analysis) menggunakan ASTM D7582 dan uji foto mikro. Data hasil pengujian TGA menunjukkan bahwa nilai moisture terendah terdapat pada variasi 5% serat dengan 12,02% sedangkan nilai moisture tertinggi terdapat pada variasi 10% serat dengan 21,71%, nilai volatile terendah terdapat pada variasi 10% serat dengan 76,55% sedangkan nilai volatile tertinggi terdapat pada variasi 5% serat dengan 88,25%. Hasil analisis stabilitas termal menunjukkan bahwa temperatur pengurangan berat 5% dan 10% yang paling tinggi yaitu pada variasi 10% serat sedangkan yang paling rendah yaitu pada variasi 5% serat. Berdasarkan hasil pengamatan foto mikro dapat disimpulkan bahwa untuk variasi 5%, 7,5%, dan 10% serat bambu memiliki persentase void yang tidak jauh berbeda, akan tetapi variasi fraksi volume serat bambu 5% void lebih banyak terdapat pada matriks sedangkan pada variasi fraksi volume serat bambu 10% void lebih banyak terdapat pada sisi-sisi serat. Sesuai dengan hasil stabilitas termal, variasi dengan void yang lebih banyak pada sisi-sisi serat menunjukkan stabilitas termal yang lebih baik dibandingkan variasi dengan void yang lebih banyak pada matriks.

Kata kunci: *Green Composite*, Sari Pati Kentang, Serat Bambu, Fraksi Volume, Uji TGA, Foto Mikro

Abstract

The strategy of employing effective thermal insulators can serve as a solution to reduce energy consumption in buildings by mitigating energy loss due to heat transfer. However, most thermal insulators currently in use are made from petrochemical materials, posing potential environmental risks. Thus, the utilization of environmentally friendly materials such as *green composite* bamboo fiber with potato starch matrix can offer an alternative solution. This research employs potato starch matrix and bamboo fiber as reinforcement. The compositions of potato starch and bamboo fiber utilize volume fractions of 5% bamboo fiber: 95% potato starch, 7.5% bamboo fiber: 92.5% potato starch, and 10% bamboo fiber: 90% potato starch. Thermal testing methods utilized in this study include Thermogravimetric Analysis (TGA) following ASTM D7582 and microscopic analysis. TGA test data shows that the lowest moisture value is in the 5% fiber variation with 12.02% while the highest moisture value is in the 10% fiber variation with 21.71%, the lowest volatile value is in the 10% fiber variation with 76.55% while the highest volatile value is in the 5% fiber variation with 88.25%. The results of thermal stability analysis show that the highest 5% and 10% weight reduction temperatures are in the 10% fiber variation while the lowest is in the 5% fiber variation. Based on the results of microphoto observations, it can be concluded that for the 5%, 7.5%, and 10% variations of bamboo fiber, the percentage of voids is not much different, but the 5% bamboo fiber volume fraction variation has more voids in the matrix, while the 10% bamboo fiber volume fraction variation has more voids on the sides of the fiber. In accordance with the results of thermal stability, the variation with more voids on the sides of the fiber shows better thermal stability than the variation with more voids in the matrix.

Keywords: *Green Composite*, Potato Starch, Bamboo Fiber, Volume Fraction, Thermogravimetry Analysis (TGA), Microscopic Analysis

1. Pendahuluan

Bangunan gedung menggunakan 40% dari energi global yang menghasilkan emisi pada tahap konstruksi dan operasi, dimana terdapat dua jenis energi berpengaruh yaitu *embodied*

energy (energi terkandung) dan *operational energy* [1]. Sebagai salah satu sektor yang mengkonsumsi energi dalam jumlah besar, sektor konstruksi dapat berkontribusi untuk menurunkan konsumsi energinya melalui

strategi penggunaan isolator yang tepat dan efektif pada bangunan. Penggunaan isolator termal yang efektif dapat menghemat energi sehingga energi yang dibutuhkan untuk pendinginan ruangan di musim panas lebih sedikit dan sebaliknya. Isolator termal terdiri dari bahan atau material komposit yang memiliki karakteristik ketahanan termal yang tinggi seperti *fiberglass*, *mineral wool*, *polystyrene*, *polyurethane foam*, dan *multi-foils*. Namun, bahan-bahan tersebut terbuat dari zat petrokimia sehingga dapat memberikan ancaman terhadap lingkungan [2].

Penggunaan bahan yang ramah lingkungan seperti perpaduan *green composite* serat bambu dan sari pati kentang dapat menjadi alternatif untuk memenuhi kebutuhan material yang ramah lingkungan. *Green composite* dengan bahan serat bambu dan sari pati kentang tidak hanya memperbaiki kualitas lingkungan namun juga memberikan manfaat untuk mengurangi biaya produksi material. Selain itu, pengolahan sari pati kentang dapat membantu mengurangi limbah umbi kentang yang tidak memenuhi standar pasar. Dalam jangka panjang, penggunaan *green composite* dapat membantu mengurangi dampak negatif dari limbah bahan sintesis pada lingkungan. Beberapa contoh komposit lainnya yang diteliti sebagai isolator termal diantaranya sabut kelapa, tongkol jagung, serat ijuk, dan karet alam.

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh variasi fraksi volume serat terhadap stabilitas termal *green composite* sari pati kentang berpenguat serat bambu melalui uji TGA. Rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah, bagaimana pengaruh variasi fraksi volume serat terhadap stabilitas termal *green composite* sari pati kentang berpenguat serat bambu melalui uji TGA. Batasan yang ditetapkan dalam penelitian ini antara lain:

1. Serat yang digunakan sebagai penguat dalam *green composite* adalah serat bambu.
2. Matriks yang digunakan adalah sari pati kentang.
3. Parameter lingkungan tertentu seperti suhu dan kelembaban diasumsikan homogen.
4. Proses pengadukan bahan diasumsikan sudah homogen.
5. Proses pencetakan spesimen diasumsikan tekanan merata dan sama besar.

2. Dasar Teori

2.1. Green Composite

Green composite merupakan komposit yang terbuat dari matriks alami dengan penguat

yang berasal dari material-material alami yang ramah lingkungan. Matriks pada *green composite* dibuat dari bahan-bahan alami seperti pati sagu atau sari pati kentang yang mudah terurai, umumnya dikenal dengan istilah bioplastik. Serat alam seperti serat rami, serat bambu, serat nanas, dan beberapa serat alam lainnya dapat digunakan sebagai material penguat *green composite*. Selain memiliki densitas yang rendah, serat alam juga memiliki beberapa keuntungan lainnya seperti memiliki spesifikasi kekuatan, harga yang lebih terjangkau, ketersediaannya melimpah, mudah didaur ulang, dan menghasilkan emisi yang lebih rendah [3].

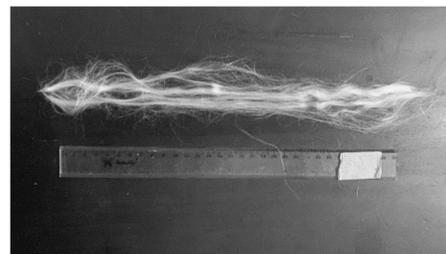
2.2. Sari Pati Kentang

Sari pati kentang merupakan produk hasil ekstraksi dari umbi kentang. Kentang (*Solanum tuberosum L.*) adalah salah satu jenis tanaman umbi-umbian dari famili Solanaceae yang berasal dari Amerika Selatan dan dapat ditemukan di hampir semua negara di dunia.

Dibandingkan jenis lainnya, sari pati kentang memiliki nilai *swelling power* dan viskositas tinggi yang mempunyai peran penting terhadap fungsinya sebagai *gelling agent* [4]. Sari pati kentang memiliki tekstur yang lembut dan bisa digunakan sebagai pengental dalam saus atau sup sehingga sering ditambahkan dalam adonan untuk membuat pasta. Selain itu sari pati kentang memiliki daya serap yang tinggi dan digunakan sebagai bahan pelapis dalam berbagai produk makanan. Pengolahan sari pati kentang dapat membantu mengurangi limbah umbi kentang yang tidak memenuhi standar pasar.

2.3. Serat Bambu

Serat bambu ialah salah satu jenis serat yang diambil dari batang bambu. Pemanfaatan serat bambu pada komposit merupakan alternatif karena serat ini memiliki tekstur yang halus dan kuat. Proses pengambilan serat bambu dilakukan dengan mengupas atau memisahkan serat dari batang bambu. Dalam proses budidayanya, tanaman bambu tidak memerlukan perawatan khusus dan mudah ditanam sehingga sangat mudah ditemukan di Indonesia.



Gambar 1. Serat Bambu

2.4. Fraksi Volume

Fraksi volume adalah perbandingan antara penguat dan matriks yang digunakan dalam pembuatan komposit. Fraksi volume dapat dihitung dengan rumus:

- Volume Cetakan
 $V_c = p \times l \times t$ (1)

Keterangan :

p = Panjang (cm)

l = Lebar (cm)

t = Tinggi (cm)

Volume serat, massa serat, volume matriks, dan berat matriks dapat dihitung dengan rumus berikut:

- Volume Serat (V_f)
 $V_f = \text{Fraksi Volume (\%)} \times V_c$ (2)

- Massa Serat (B_f)
 $B_f = V_f \times \rho_f$ (3)

- Volume Matriks (V_{matriks})
 $V_{\text{matriks}} = V_c - V_f$ (4)

- Massa Matriks (B_m)
 $B_m = V_{\text{matriks}} \times \rho_{\text{matriks}}$ (5)

Keterangan :

ρ_f = Massa Jenis Serat (gr/cm^3)

ρ_m = Massa Jenis Matriks (gr/cm^3)

V_c = Volume Cetakan (cm^3)

V_f = Volume Serat (cm^3)

V_m = Volume Matriks (cm^3)

B_f = Massa Serat (gr)

B_m = Massa Matriks (gr)

2.5. Uji TGA

Thermogravimetric Analysis (TGA) berfungsi untuk mengukur kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan panas, dengan cara mengukur seberapa efisien suatu material dalam mengalirkan panas. Pengujian ini penting untuk dilakukan terkait penggunaan suatu bahan sebagai peredam panas.

Uji *thermogravimetric* termasuk dalam analisis termal karena spesimen mengalami perlakuan pada beberapa suhu dan atmosfer yang berbeda [5]. Hasil dari kurva TG menunjukkan adanya perubahan komposisi sampel, stabilitas termal, dan parameter kinetik untuk reaksi kimia dari spesimen [6].

2.6. Foto Mikro

Uji Foto Mikro adalah suatu pengujian untuk mengetahui struktur bahan melalui pembesaran dengan menggunakan mikroskop. Dengan pengujian ini dapat memberikan informasi mengenai bentuk permukaan, porositas, kepadatan, ataupun *void* dari material yang diuji. Porositas dapat didefinisikan sebagai ukuran dari volume ruang kosong terhadap volume total, sedangkan *void* adalah keberadaan rongga udara dalam komposit.

Uji Foto Mikro dilakukan di Laboratorium Metalurgi Teknik Mesin Universitas Udayana.

3. Metode penelitian

Adapun alat dan bahan yang diperlukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

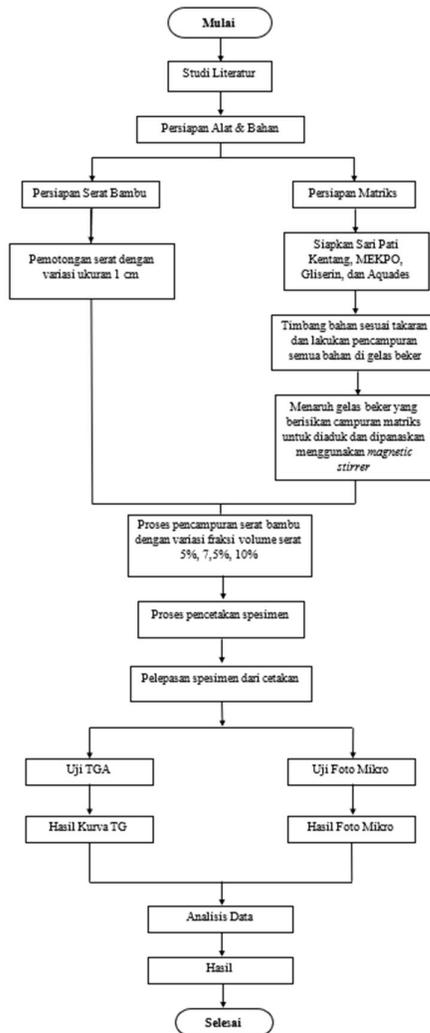
1.1. Alat

1. Alat Uji : Menggunakan alat uji LECO TGA-701 *Thermogravimetric Analyzer* dengan ASTM D7582 dan mikroskop.
2. Alat Pembuatan Spesimen : Nesco Lab MS-H280-Pro *Magnetic Stirrer*.
3. Alat Cetak : Cetakan berupa wadah yang terbuat dari mika.
4. Alat Ukur : Timbangan digital dan gelas ukur.
5. Alat Bantu : Gunting, pisau, pengupas buah/sayur, sendok, blender, saringan, wadah, batang pengaduk, dan magnetic stirrer bar.
6. Alat Pembersih : Lap dan tisu.

3.2. Bahan

1. Kentang
2. *Metyl Etyl Keton Peroksida* (MEKPO)
3. Gliserin
4. Aquades
5. Serat Bambu

3.3. Diagram alir penelitian



Gambar 2. Diagram alir penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Hasil Uji TGA

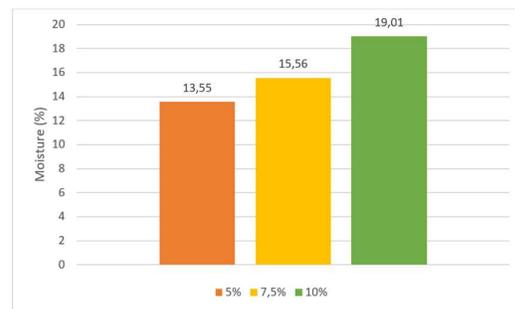
Tabel 1. Data Hasil Moisture dan Volatile

Fraksi Volume Sari Pati Kentang : Serat Bambu	Data Hasil Pengujian		
	Spesimen	Moisture (%)	Volatile (%)
95% : 5%	1	12,02	83,89
	2	12,80	88,25
	3	15,84	85,09
	Rata-rata	13,55	85,74
92,5% : 7,5%	1	13,64	78,03
	2	15,53	85,87
	3	17,51	86,86
	Rata-rata	15,56	83,59
90% : 10%	1	16,21	83,02
	2	19,12	76,55
	3	21,71	78,99
	Rata-rata	19,01	79,52

Tabel 2. Data Hasil Stabilitas Termal

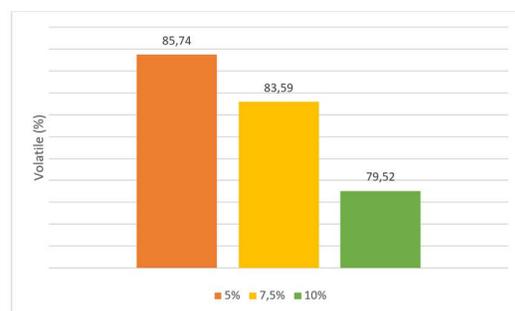
Fraksi Volume Sari Pati Kentang : Serat Bambu	Spesimen	Berat Spesimen (gr)	Stabilitas Termal			
			Temperatur Weight Loss 5% (°C)	Weight Loss 5% (gr)	Temperatur Weight Loss 10% (°C)	Weight Loss 10% (gr)
95% : 5%	1	0,919	108,828	0,046	107,013	0,092
	2	0,931	106,242	0,047	107,013	0,093
	3	0,874	108,269	0,044	106,992	0,087
	Rata-rata		107,780	0,045	107,006	0,091
92,5% : 7,5%	1	0,907	110,646	0,045	107,007	0,091
	2	1,013	107,264	0,051	107,042	0,101
	3	0,825	107,895	0,041	107,010	0,083
	Rata-rata		108,602	0,046	107,020	0,092
90% : 10%	1	0,928	109,615	0,046	107,027	0,093
	2	0,885	108,288	0,044	107,020	0,089
	3	0,837	110,037	0,042	107,531	0,084
	Rata-rata		109,163	0,044	107,193	0,088

4.2. Pembahasan Moisture dan Volatile



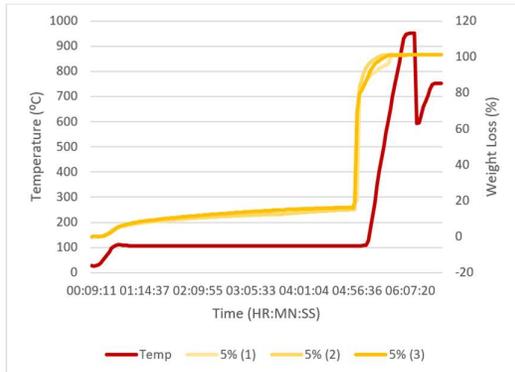
Gambar 3. Diagram Batang Moisture

Moisture atau kelembapan menunjukkan berapa jumlah air atau cairan yang terdapat dalam sebuah material. Nilai moisture pada sebuah komposit dapat berpengaruh pada karakteristik termal komposit tersebut karena nilai moisture mempengaruhi konduktivitas termal suatu material. Semakin tinggi nilai moisture pada sebuah material maka semakin tinggi nilai konduktivitas termal material tersebut.



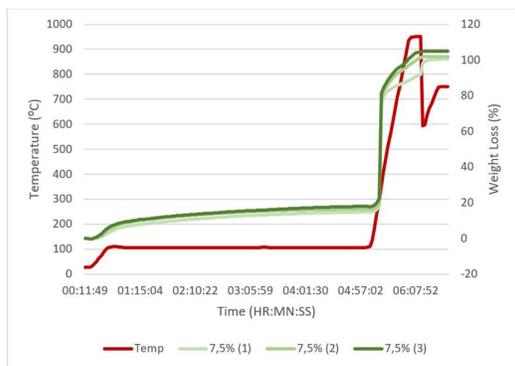
Gambar 4. Diagram Batang Volatile

Volatile dapat didefinisikan sebagai sebuah zat yang mudah menguap pada suhu normal dan memiliki karakteristik yang tidak stabil. Tinggi rendahnya kadar *volatile* pada suatu material sangat bergantung pada jenis bahan baku yang digunakan [7]. Nilai *volatile* pada TGA menunjukkan seberapa gampang sebuah zat akan menguap pada temperatur tertentu, maka jika sebuah material memiliki nilai *volatile* yang tinggi, berarti material tersebut mudah menguap atau terbakar.



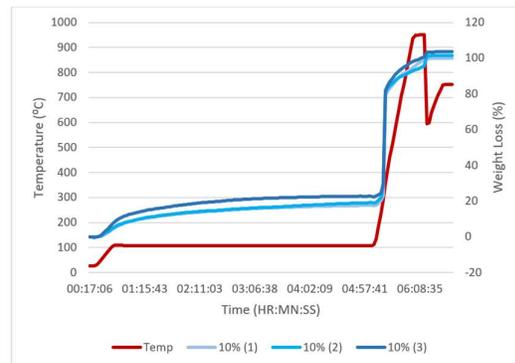
Gambar 5. Kurva TGA 95% Sari Pati Kentang : 5% Serat Bambu

Berdasarkan gambar 4.3 dapat dilihat bahwa sampel pertama spesimen dengan fraksi volume 95% sari pati kentang : 5% serat bambu memiliki nilai *moisture* 12,02% dengan nilai *volatile* 83,89%, sampel kedua memiliki nilai *moisture* 12,80% dengan nilai *volatile* 88,25%, sampel ketiga memiliki nilai *moisture* terendah 15,84% dengan nilai *volatile* 85,09%. Hasil pada gambar juga menunjukkan *weight loss* atau penurunan berat pada temperatur 850°C dari sampel pertama memiliki nilai 92,31%, sampel kedua 99,44%, dan sampel ketiga 99,89%.



Gambar 6. Kurva TGA 92,5% Sari Pati Kentang : 7,5% Serat Bambu

Berdasarkan gambar 4.4 dapat dilihat bahwa sampel pertama spesimen dengan fraksi volume 92,5% sari pati kentang : 7,5% serat bambu memiliki nilai *moisture* 13,64% dengan nilai *volatile* 78,03%, sampel kedua memiliki nilai *moisture* 15,53% dengan nilai *volatile* 85,87%, sampel ketiga memiliki nilai *moisture* 17,51% dengan nilai *volatile* 86,86%. Hasil pada gambar juga menunjukkan *weight loss* atau penurunan berat pada temperatur 850°C dari sampel pertama memiliki nilai 87,32%, sampel kedua 95,12%, dan sampel ketiga 97,99%.



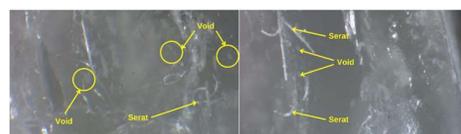
Gambar 7. Kurva TGA 90% Sari Pati Kentang : 10% Serat Bambu

Berdasarkan gambar 4.5 dapat dilihat bahwa sampel pertama spesimen dengan fraksi volume 90% sari pati kentang : 10% serat bambu memiliki nilai *moisture* 16,21% dengan nilai *volatile* 83,02%, sampel kedua memiliki nilai *moisture* 19,12% dengan nilai *volatile* 76,55%, sampel ketiga memiliki nilai *moisture* 21,71% dengan nilai *volatile* tertinggi 78,99%. Hasil pada gambar juga menunjukkan *weight loss* atau penurunan berat pada temperatur 850°C dari sampel pertama memiliki nilai 92,86%, sampel kedua 91,52%, dan sampel ketiga 96,43%.

4.3. Hasil Foto Mikro



Gambar 8. Foto Mikro Fraksi Volume 5% Serat



Gambar 9. Foto Mikro Fraksi Volume 7,5% Serat



Gambar 10. Foto Mikro Fraksi Volume 10% Serat

Dari hasil pengamatan foto mikro terlihat bahwa untuk 3 variasi fraksi volume 5%, 7,5%, dan 10% serat bambu memiliki persentase *void* yang tidak jauh berbeda. Hanya saja pada variasi fraksi volume serat bambu 5% *void* lebih banyak terdapat pada matriks sedangkan pada variasi fraksi volume serat bambu 10% *void* lebih banyak terdapat pada sisi-sisi serat. Pengaruh penggunaan serat berdiameter kecil akan mengakibatkan rongga atau *void* yang dihasilkan di dalam komposit semakin banyak jumlahnya dan rapat walaupun ukurannya kecil [8]. Selain itu, adanya susunan serat yang kurang rapat pada komposit akan memungkinkan terdapat celah kosong yang tidak terisi oleh resin dan menimbulkan *void* sehingga saat dialiri panas konduksi terjadi penghambatan rambatan panas [9].

Menurut Bustumi & Ghofur, nilai konduktivitas termal material komposit dipengaruhi oleh *void*. Semakin banyak jumlah *void* yang dihasilkan maka semakin rendah nilai konduktivitas termal material tersebut. Hal ini dikarenakan perpindahan panas yang terjadi tidak hanya secara konduksi tapi juga disertai konveksi udara. Dibandingkan dengan cairan atau padatan, udara merupakan pemindah kalor yang buruk. Saat komposit memiliki jumlah *void* yang banyak, maka kemampuannya dalam menghantarkan panas akan semakin buruk dan nilai konduktivitas termalnya semakin kecil [8].

5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang sudah penulis lakukan mengenai pengaruh variasi fraksi volume *green composite* sari pati kentang dan serat bambu, maka dapat disimpulkan pada pengujian TGA yang telah dilakukan didapatkan hasil penelitian dimana nilai *moisture* terendah terdapat pada variasi 5% serat dengan 12,02% sedangkan nilai *moisture* tertinggi terdapat pada variasi 10% serat dengan 21,71%, nilai *volatile* terendah terdapat pada variasi 10% serat dengan 76,55% sedangkan nilai *volatile* tertinggi terdapat pada variasi 5% serat dengan 88,25%. Hasil analisis stabilitas termal menunjukkan bahwa temperatur pengurangan berat 5% dan 10% yang paling tinggi yaitu pada variasi 10% serat sedangkan yang paling rendah yaitu pada variasi 5% serat. Berdasarkan hasil pengamatan foto mikro dapat disimpulkan bahwa untuk

variasi 5%, 7,5%, dan 10% serat bambu memiliki persentase *void* yang tidak jauh berbeda, akan tetapi variasi fraksi volume serat bambu 5% *void* lebih banyak terdapat pada matriks sedangkan pada variasi fraksi volume serat bambu 10% *void* lebih banyak terdapat pada sisi-sisi serat. Sesuai dengan hasil stabilitas termal, variasi dengan dengan *void* yang lebih banyak pada sisi-sisi serat menunjukkan stabilitas termal yang lebih baik dibandingkan variasi dengan *void* yang lebih banyak pada matriks.

6. Daftar Pustaka

- [1] Uda, S. A. K., & Wibowo, M. A., 2018, *Upaya Penurunan Energi Di Bidang Konstruksi Dalam Rangka Mengurangi Dampak Pemanasan Global*.
- [2] Aditya, L., Mahlia, T. M. I., Rismanchi, B., Ng, H. M., Hasan, M. H., Metselaar, H. S. C., Muraza, O., & Aditiya, H. B., 2017, *A Review On Insulation Materials For Energy Conservation In Buildings*. In Renewable And Sustainable Energy Reviews (Vol. 73, Pp. 1352–1365). Elsevier Ltd.
- [3] Marlinawati, N. M., Putu, I., Octavian, Y., Luh, N., Lisdiantari, G., Nengah, G., & Gunawan, W., 2021, *Green Composite Pelepeh Pinang, Pati Singkong Dan Resin Epoksi Sebagai Material Ramah Lingkungan*. In Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika (Vol. 10, Issue 4).
- [4] Adelsa Danimayostu, A., Maya Shofiana, N., & Permatasari, D., 2017, *Pengaruh Penggunaan Pati Kentang (Solanum Tuberosum) Termodifikasi Asetilasi-Oksidasi Sebagai Gelling Agent Terhadap Stabilitas Gel Natrium Diklofenak*. In Pharmaceutical Journal Of Indonesia (Vol. 2017, Issue 1).
- [5] De Blasio, C., 2019, *Thermogravimetric Analysis (TGA)*. In C. De Blasio (Ed.), *Fundamentals Of Biofuels Engineering And Technology* (Pp. 91–102). Springer International Publishing.
- [6] Agus Jamaludin, I., Al Afghani, F., Jamaludin, A., Dwiyantri, H., Ariyanti Saputri, Dan, & Teknologi Bahan Bakar Nuklir Badan Tenaga Nuklir Nasional, P., 2020, *Identifikasi Kerusakan Thermo Gravimetry Analysis Di Hotcell 108 Irm*.
- [7] Ruslinda, Y., Husna, F., & Nabila, A., 2017, *Karakteristik Briket Dari Komposit Sampah Buah, Sampah Plastik High Density*

Polyethylene (HDPE) Dan Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Bakar Alternatif Di Rumah Tangga. 5 Jurnal Presipitasi, 14(1).

[8] Pratiwi, P., Perdana, M., Gajah, J., Raya, M. J. K., Olo, K., Nanggalo, K., Padang, K., & Barat, S., 2023, ***Pengaruh Variasi Urutan Lapisan Terhadap Sifat Akustik Dan Termal Komposit Ramah Lingkungan Berpenguat Serat Ampas Tebu Dan Getah Pinus.***

[9] Subagyo, M. I. A., & Muchsin, R., 2024, ***Pengaruh Fraksi Volume Dan Susunan Serat Komposit Polyester-Serat Eceng Gondok Terhadap Nilai Konduktivitas Termal.*** Jtam Rotary, 6(1), 71–84.

[10] Bustumi, F., & Ghofur, A., 2021, ***Uji Konduktivitas Termal Komposit Poliester Filler Serbuk Kayu Ulin (Eusideroxylon Zwageri).*** 3.

	<p>Kimi Obelix Castafiore menyelesaikan studi program sarjana di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan Rekayasa Manufaktur.</p>	

PENGURANGAN NH_3 DAN H_2S MENGGUNAKAN *PLAT INTERCEPTOR* BERMEDIA MINYAK PELUMAS PADA BERBAGAI VARIASI ALIRAN ASAP

Gabriel Cristian CR Sihombing, I Nyoman Suprpta Winaya, I Wayan Arya
Darma

Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan plat interceptor bermedia minyak pelumas oli bekas untuk meminimalkan jumlah asap dan bau yang timbul dari sebuah sistem pengeringan seperti Rotary Dryer (RD). Asap uap air yang ditimbulkan dari RD bisa mengandung gas pencemar berbau seperti Amonia (NH_3) dan Hidrogen Sulfida (H_2S), yang sangat tergantung pada jenis sampah organik yang dikeringkan dan kondisi operasional mesin. Plat interceptor dibuat dalam bentuk balok berukuran panjang 1m, lebar 0.12m dan tinggi 0.13m dimana plat disusun secara zig-zag untuk menghambat aliran asap gas sehingga partikel pencemar menjadi tertangkap dan menempel pada media oli bekas yang dilapiskan pada permukaan plat tersebut. Kecepatan aliran asap divariasikan dari 3 sampai dengan 6 m/s untuk melihat efektifitas penangkapan gas-gas pencemar selama durasi waktu pengujian 120 detik. Hasil investigasi menunjukkan bahwa penurunan persentase gas pencemar terjadi pada setiap peningkatan kecepatan aliran asap yang diberikan yakni paling rendah pada kecepatan 6 m/s yaitu NH_3 dari 63,73 menjadi 10,34 ppm dan H_2S dari 6,3 menjadi 1,9 ppm. Kefektifan dan efisiensi penangkapan pada kecepatan 6 m/s juga diukur paling optimal yaitu 53,6% dan 84,1% berturut-turut.

Kata kunci : *Plat interceptor, asap dan bau, oli bekas, efektifitas dan efisiensi.*

Abstract

This study aims to develop an oil-lubricated waste oil interceptor plate to minimize the amount of smoke and odor emitted from a drying system such as a Rotary Dryer (RD). The water vapor smoke emitted from the RD can contain pollutants as odoriferous gases such as ammonia (NH_3) and hydrogen sulfide (H_2S), which greatly depend on the type of organic waste being dried and the operational conditions of the machine. The interceptor plate is constructed in the form of blocks measuring 1m in length, 0.12m in width, and 0.13m in height, where the plates are arranged in a zigzag pattern to impede the flow of smoke gas so that pollutant particles are trapped and adhere to the waste oil media layered on the surface of the plate. The smoke flow rate is varied from 3 to 6 m/s to observe the effectiveness of capturing pollutant gases during the 120-second testing duration. The investigation results show that the percentage decrease in pollutant gases occurs with each increase in smoke flow rate given, with the lowest at a speed of 6 m/s, namely NH_3 from 63.73 to 10.34 ppm and H_2S from 6.3 to 1.9 ppm. The effectiveness and efficiency at a speed of 6 m/s are measured as optimal at 53.6% and 84.1% respectively.

Keywords: Interceptor plate, smoke and smell, used oil, waste lubricant, effectivity and efficiency.

1. Pendahuluan

Sampah Kota atau *Municipal Solid Waste* (MSW) adalah bahan sisa yang tidak lagi digunakan, namun menjadi isu nasional yang memerlukan penanganan yang komprehensif dan terintegrasi untuk memberikan manfaat ekonomi, menjaga kesehatan masyarakat, dan melindungi lingkungan. Plastik merupakan penyumbang utama dalam sampah yang dihasilkan di Indonesia. Pada tahun 2022 timbulan sampah rumah tangga dan sejenisnya yang terdiri dari 299 kabupaten/kota se-Indonesia mencapai 35.174.059,83 ton/tahun, dengan persentase sampah yang terkelola 65,03% dan sampah yang tidak terkelola sebesar 34,97% [1]. Kurangnya kesadaran akan dampak lingkungan dari penggunaan plastik dan kurangnya alternatif yang ramah lingkungan menghambat upaya pengurangan sampah plastik. Pengembangan teknologi penanganan sampah dan pembakaran sampah yang berasal dari kebutuhan untuk mengatasi masalah penumpukan sampah dan

dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia [2].

Rotary dryer digunakan untuk mengurangi kandungan *moisture content* yang ada pada sampah sebelum sampah dijadikan RDF [3]. Dalam proses pengeringan sampah dihasilkan NH_3 dan H_2S yang berbahaya untuk kesehatan dan bau tidak sedap pada lingkungan.

Wet scrubber alat yang berfungsi untuk mengurangi dan menghilangkan NH_3 dan H_2S yang efektif [3]. Penggunaan air mejadi pertimbangan karena tingkat viskositas air lebih rendah dibandingkan dengan minyak pelumas dari oli bekas, pada penelitian [4] bahan berminyak ditambahkan untuk meningkatkan efisiensi.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi aliran asap terhadap pengurangan NH_3 dan H_2S menggunakan *plat interceptor* dengan media minyak pelumas hasil dari pengeringan pada berbagai variasi kecepatan aliran

asap agar mengurangi dampak terhadap lingkungan dari gas yang dihasilkan

2. Dasar Teori

Sampah kota adalah bahan sisa yang tidak digunakan, namun menjadi isu nasional yang memerlukan penanganan yang komprehensif dan terintegrasi. Pada tahun 2022 sampah rumah tangga dan sejenisnya yang terdiri dari 299 kabupaten/kota se-Indonesia mencapai 35.174.059 ton/tahun, dengan persentase sampah yang terkelola 65.03% dan sampah yang tidak terkelola sebesar 34.97% [5]. Tingginya sampah yang dihasilkan menyebabkan semakin berkurangnya lahan penampungan sampah dan menurunnya kualitas lingkungan, solusi mengurangi timbunan sampah serta untuk memanfaatkan sampah dengan cara mengelola dijadikan RDF.

Teknologi pengeringan yang digunakan untuk mengurangi kandungan *moisture content* adalah menggunakan *rotary dryer*, untuk menghasilkan pengeringan yang lebih merata, lebih banyak mengurangi *moisture content* dan mempercepat waktu pengeringan [6]. Penggunaan teknologi pengeringan ini dapat menghasilkan *flue gas* dan *fly ash* yang berbahaya untuk lingkungan dan kesehatan.

Teknologi penyaringan gas merupakan istilah yang mengarah pada metode dan peralatan yang digunakan untuk menghilangkan atau mengurangi berbagai kontaminan atau zat berbahaya dari aliran *flue gas* dan *fly ash* [7]. Teknologi penyaringan gas yang paling sering digunakan adalah *wet scrubber system* (WSS), prinsip dasar dari teknologi penyaringan gas melibatkan pemisahan partikel atau molekul gas yang tidak diinginkan dari aliran udara atau gas lainnya, menggunakan berbagai teknik seperti penyerapan, penyaringan fisik, dan proses kimiawi.

Minyak pelumas oli bekas adalah kombinasi bahan kimia yang kompleks terdiri dari hidrokarbon dan senyawa organik lainnya [8]. Viskositas oli bekas pada suhu 100°C adalah 10.58 Pa.s.

Interceptor berasal dari material Seng (Zn) yang berfungsi sebagai tempat terjadinya pengurangan NH₃ dan H₂S hasil pengeringan pada MSW di bawa oleh blower. Pada NH₃ dan H₂S akan di murnikan dengan menggunakan *plat Interceptor* yang dilapisi oli sebagai penangkap *fly ash*, amonia, dan Hidrogen Sulfida. Cara kerja yang terjadi pada *Interceptor* untuk pengurangan NH₃ dan H₂S adalah *flue gas* hasil pengeringan disuplai menggunakan blower pada variasi kecepatan yang telah di tentukan dan terjadi turbulens yang diakibatkan oleh plat *Interceptor* yang disusun zig-zag untuk meredayasa turbulens pada fluida, agar *flue gas* yang disuplai dapat melekat pada media oli dan kepekatan asap dapat berkurang.

3. Metode Penelitian

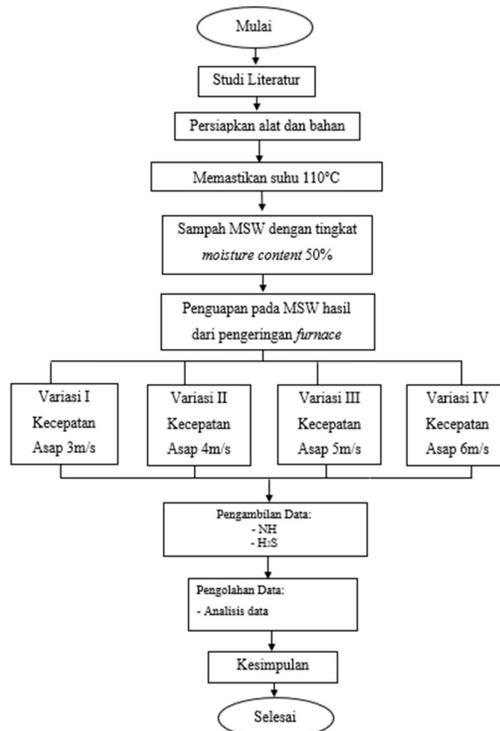
3.1 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Furnace*

2. Timbangan
3. *anemometer*
4. *interceptor*
5. *Gas analyzer*
6. Pompa aquarium
7. *Blower*
8. *Gas detector*
9. Oli bekas
10. Sampah kota (MSW)

1.2 Diagram alir penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3.3 Efektivitas Oli Bekas

Efektivitas oli bekas mengacu kepada perbandingan kandungan *ash* setelah dilakukan pengujian dengan sebelum pengujian, atau secara matematika didefinisikan dengan

$$\eta = \frac{X_0}{X_1} \quad (1)$$

η = Efektivitas penangkapan partikel

X_0 = Kandungan ash setelah

X_1 = Kandungan ash sebelum

2. Hasil dan Pembahasan

4.1 Karakterisasi Oli Bekas

Karakterisasi oli bekas dilakukan untuk mengetahui kandungan oli bekas yang digunakan sebelum penelitian. Karakterisasi oli bekas dilakukan menggunakan pengujian uji *proximate*.

Tabel 1. Hasil Uji Proximate Oli Bekas

Sampel Oli Bekas	Moisture	Volatile	Ash	Fixed Carbon
	%			
1	0.12	99.35	0.05	0.48
2	0.21	99.16	0.09	0.54
3	0.12	99.59	0.01	0.28
Rata-rata	0.15	99.37	0.05	0.43

4.2 Karakterisasi MSW

Karakterisasi MSW dilakukan untuk mengetahui kandungan MSW yang digunakan sebelum dilakukan penelitian, MSW yang digunakan dengan *moisture* 50%. Karakterisasi MSW dilakukan menggunakan uji *proximate*.

Tabel 2. Hasil Uji Proximate pada MSW

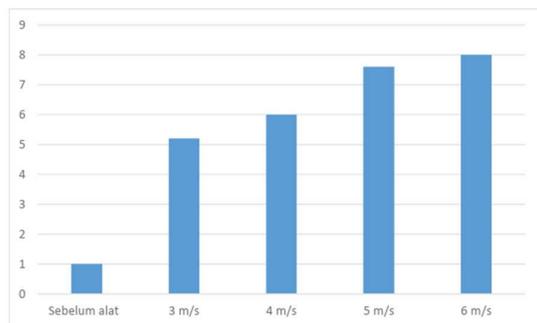
Sampel MSW	Moisture	Volatile	Ash	Fixed Carbon
	%			
1	50.09	44.73	3.15	2.03

4.3 Efektivitas Oli Bekas

Pengukuran keefektifitasan oli bekas diukur dengan menggunakan persamaan (1), untuk mengetahui perbandingan pengaruh penggunaan oli bekas terhadap pengurangan NH₃ dan H₂S.

Tabel 3. Nilai Kandungan Oli Bekas setelah pengujian.

Variasi	Moisture	Volatile	Ash	Fixed Carbon	η
	%				
Sebelum alat	0.15	99.37	0.05	0.43	1
3 m/s	0.31	99.14	0.26	0.29	5.2
4 m/s	0.37	98.9	0.3	0.43	6
5 m/s	0.72	98.84	0.38	0.06	7.6
6 m/s	1.01	98.51	0.4	0.08	8



Gambar 2. Perbandingan Efektivitas Oli Bekas Pada Setiap Variasi Kecepatan Aliran Asap.

Dari Tabel 3 penggunaan oli bekas mengalami peningkatan performa efektivitas pemurnian seiring dengan peningkatan kecepatan. Performa efektivitas

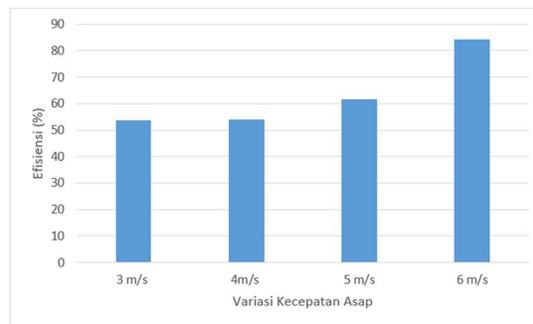
terbaik yang diperoleh pada penelitian ini adalah 8 dengan variasi kecepatan 6 m/s. Hal ini disebabkan oleh munculnya aliran vortex sepanjang *Interceptor*. Pada Gambar 2 menunjukkan peningkatan efektifitas oli bekas pada kecepatan aliran gas hasil pembakaran yang lebih tinggi. Nilai efektifitas dihitung dari kandungan ash yang terdapat dalam oli bekas pada setiap variasi pengujian.

4.4 Efisiensi Pemurnian NH₃ dan H₂S

Efisiensi pemurnian NH₃ dan H₂S dapat dihitung menggunakan persamaan (2) Nilai efisiensi pada setiap variasi pengujian ditampilkan dalam Tabel 4. Dapat dilihat pada Tabel 4 bahwa efisiensi NH₃ dan H₂S sebelum menggunakan *interceptor* sebesar 38.102 ppm, setelah dilakukan pengujian dengan variasi peningkatan kecepatan maka nilai kandungan yang terdapat pada NH₃ dan H₂S mengalami penurunan hingga menjadi 6.053 ppm pada variasi 6 m/s. Sejalan dengan peningkatan kecepatan, nilai efisiensi juga mengalami peningkatan. Efisiensi NH₃ dan H₂S terbaik didapatkan pada variasi 6 m/s dengan efisiensi 84.113%. Peningkatan kecepatan udara akan memberikan efek positif pada performa pemurnian flue gas oleh *interceptor*.

Tabel 4. Efisiensi Pemurnian NH₃ dan H₂S

Variabel Terikat (ppm)	Kecepatan Aliran				
	Tanpa alat	3 m/s	4 m/s	5 m/s	6 m/s
NH ₃	33.42	14.90	14.40	13.07	4.645
H ₂ S	4.67	2.74	3.10	1.56	1.40
Jumlah	38.10	17.65	17.50	14.63	6.05
Efisiensi (%)		53.67	54.06	61.58	84.11



Gambar 3. Efisiensi Pemurnian NH₃ dan H₂S

Pada Gambar 3 ditunjukkan nilai peningkatan efisiensi pada gas NH₃ dan H₂S di setiap variasi kecepatan aliran gas. Masing-masing variasi kecepatan aliran gas menghasilkan efisiensi, yaitu 3 m/s sebesar 53.671%, 4 m/s sebesar 54.064%, 5 m/s sebesar 61.587%, dan 6 m/s sebesar 84.113%. Nilai efisiensi yang diperoleh dipengaruhi oleh media minyak pelumas berupa oli bekas yang mampu menangkap partikel gas pencemaran dan bau serta kecepatan aliran gas.

5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada pengaruh kecepatan udara terhadap pemurnian flue gas dengan *interceptor* menggunakan media minyak pelumas berupa oli bekas, maka dapat ditarik kesimpulan:

- Pemurnian NH₃ dan H₂S pada *interceptor* mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya kecepatan aliran udara. Pada variasi 6 m/s didapatkan data awal NH₃ dari 63,73 ppm menjadi 10,34 ppm, H₂S dari 6,3 ppm menjadi 1,9 ppm. Sehingga variasi kecepatan aliran 6 m/s merupakan variasi yang paling efektif dan efisien yaitu dengan nilai efisiensi sebesar 84,113% dan eektivitas penggunaan pelumas oli bekas pada kecepatan 6 m/s 8 kali lebih efektif dari sebelum penggunaan oli bekas. Peningkatan partikel yang tertangkap oleh media oli bekas pada setiap kenaikan variasi kecepatan aliran. Semakin meningkatnya kecepatan aliran asap maka semakin meningkat juga intensitas turbulensi pada *interceptor* yang meningkatkan penyerapan polutan pada asap hasil pengeringan.

Daftar Pustaka

- [1] DLHK Kota Denpasar. (2023, August 3). DLHK Denpasar Optimalkan Penanganan, Volume Sampah di <https://www.denpasarkota.go.id>. Denpasar Meningkat 20 Persen.
- [2] Suryawan, I. W. K., Wijaya, I. M. W., Sari, N. K., Septiariva, I. Y., & Zahra, N. L., 2021, *Potential of Energy Municipal Solid Waste (MSW) to Become Refuse Derived Fuel (RDF) in Bali Province, Indonesia. Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 10(1), 09–15. DOI:10.15294/jbat.v10i1.29804.
- [3] Silalahi, M., Indriani, A., Syaiful, M., & Hernadewita, D., 2016. Distribusi Temperatur Pada Desain dan Pemilihan Material Drum Pengering Mesin Pengering *Rotary dryer* Untuk Pengolahan Limbah Cair Menggunakan *Finite Volume Met. Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XV (SNTTM XV)* Bandung, 5-6 Oktober 2016 TP 014.
- [4] Sekiguchi, K., Yasui, F., & Fujii, E., 2020, *Capturing of gaseous and particulate pollutants into liquid phase by a water/oil column using microbubbles*. *Chemosphere*, 256,126996. DOI:10.1016/j.chemosphere.2020.126996
- [5] SIPSN., 2022, Capaian <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/>.

- [6] Susana, I. G. B., Alit, I. B., & Okariawan, I. D. K., 2023, *Rice husk energy rotary dryer experiment for improved solar drying thermal performance on cherry coffee*, *Jurnal International* DOI:10.1016/j.csite.2022.102616
- [7] Therapy, C., Gordon, V., Meditation, C., VanRullen, R., Myers, N. E., Stokes, M. G., Nobre, A. C., Helfrich, R. F., Fiebelkorn, I. C., Szczepanski, S. M., Lin, J. J., Parvizi, J., Knight, R. T., Kastner, S., Wyart, V., Myers, N. E., Summerfield, C., Wan-ye-he, L. I., Yue-de, C. H. U., ... No, S., 2018, Pengaruh Waktu Pengadukan Dan Pengambilan Sampel Larutan Caco3 4% Terhadap Jumlah Endapan Pada Alat Filter Press. *Jurnal Inovasi Proses*, 3.
- [8] Lycinibacillus, O., & Basuki, W. (2016). Biodegradasi Limbah Oli Bekas. 12(2), 111 119.

	<p>Gabriel Cristian CR Sihombing menyelesaikan program sarjana di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana pada tahun 2024.</p>
<p>Judul tugas akhir Pengurangan Nh3 Dan H2s Menggunakan Plat Interceptor Bermedia Minyak Pelumas Pada Berbagai Variasi Aliran Asap</p>	
	<p>Prof. I Nyoman Suprpta Winaya, S.T., MA.Sc., Ph.D. menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana pada tahun 1994, S2 di Dalhousie University pada tahun 2000, dan S3 di Niigata University pada tahun 2008. Prof. I Nyoman Suprpta Winaya, S.T., MA.Sc., Ph.D memiliki konsentrasi ilmu dalam bidang konversi energi.</p>
	<p>I Wayan Arya Darma, S.T., M.T. menyelesaikan program S1 di Universitas Udayana pada tahun 2013 dan S2 di Universitas Udayana pada tahun 2018.</p>

Sistem Kontrol Kendaraan *Electric Hybrid* Roda Dua Terintegrasi Berbasis Kalman *Filter*

I Nyoman Bima Permana, I Wayan Widhiada, I Made Widiyarta
Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Sistem kontrol menjadi masalah yang signifikan dalam pengaturan berkendara yang terjadi pada sepeda motor *electric hybrid*, terutama pada peralihan antar sistem *electric* dengan *gasoline*. Menuju lebih ke hilir, pengaturan ini tentunya berpengaruh besar terhadap manajemen energi kendaraan. Untuk lebih spesifik, munculnya noise pada sensor potensiometer sebagai imitasi sudut bukaan throttle merupakan bagian mayor dari permasalahan sistem kontrol. Dengan demikian, rancangan sistem kontrol yang mereduksi noise sensor potensiometer dibutuhkan untuk optimasi yang dimaksud. Rancangan sistem kontrol ini dilakukan dengan mengimplementasikan algoritma Kalman Filter pada sistem kontrol kendaraan. Algoritma ini secara langsung di-deploy dan keseluruhan prosesnya dibuat melalui Arduino IDE (dengan basis pemrograman bahasa C++). Perbandingan antara sistem kontrol tanpa Kalman Filter dan dengan Kalman Filter dilakukan pada kendaraan Spin 125 Suzuki dengan penambahan modifikasi *electric* berupa Motor Brushless Direct Current (BLDC) 60 Volt/1000 Watt, baterai Lithium-Ion 60 Volt/14,7 Ah, dan microcontroller Arduino Mega2650 serta STM32 board. Dengan konfigurasi tersebut, diperoleh hasil perbandingan sistem kontrol dengan Kalman Filter memberikan data sinyal sensor noise yang lebih kecil dibandingkan tanpa Kalman Filter. Analisis nilai selisih noise sistem kontrol menunjukkan optimalisasi yang terjadi sebesar 97,3%. Selanjutnya, proses evaluasi juga ditinjau dengan melihat pengoptimalan performansi sistem kontrol, antara variabel sudut bukaan throttle dengan rpm turut dilakukan. Hasil yang ditunjukkan berupa Mean Absolute Error (MAE) pada sistem penggerak *electric* sebesar 80,5% dan sistem penggerak *gasoline-engine* mencapai 88,9%. Secara keseluruhan, nilai-nilai optimasi yang ditunjukkan melebihi threshold 80% sehingga algoritma ini layak diterapkan. Dengan demikian, algoritma Kalman Filter dapat dijadikan sebagai optimasi sistem kontrol dalam pengaturan kendaraan sepeda motor *electric hybrid*.

Kata Kunci: Sepeda Motor *Electric Hybrid*, Sistem Kontrol, Kalman Filter, MAE.

Abstract

Control system presents a significant challenge in maintaining of *electric hybrid* uses, particularly during *electric* and *gasoline* switching. Specifically, the problem of this lies in the noise on potentiometer sensor, which imitates the throttle angle. Therefore, it is necessary to design a control system that reduces potentiometer sensor noise for optimization. This control system design is accomplished by implementing Kalman Filter algorithm in control system. Kalman Filter algorithm is directly deployed and made through the Arduino IDE (C++ programming language basis). To evaluate the control system design, a comparison between control systems with and without the Kalman Filter algorithm is carried out on Suzuki Spin 125 with added *electric* modifications, such as a 60 Volt/1000 Watt brushless direct current (BLDC) motor, a 60 Voltage/14,7 Ah Lithium-ion battery, and an Arduino Mega2650 and STM32 board. The comparison results show the control system with Kalman Filter gives smaller sensor noise signal data compared to the system without Kalman Filter. The control system noise difference analysis values indicates optimization by 97.3%. Furthermore, the evaluation process includes optimizing control system performance between the throttle opening angle variable and rpm. The results show Mean Absolute Error (MAE) of 80.5% for *electric* system and 88.9% for *gasoline-engine* system. Overall, optimization values exceed the 80%, indicating algorithm is worthy of implementation. In conclusion, Kalman Filter algorithm can be utilized as an control system optimization regulating *electric hybrid* motorcycle. This approach holds great potential of energy management and reducing sensor noise, thereby contributing to the efficient operation of *electric hybrid* vehicle.

Keywords: Hybrid *Electric Motorcycle*, System Control, Kalman Filter, MAE.

1. Pendahuluan

Jumlah penggunaan sepeda motor di Indonesia pada tahun 2021 mencapai 143,8 juta unit, jumlah tersebut meningkat dari tahun sebelumnya sebesar 136,1 juta unit atau peningkatan sebesar 5,7% [1]. Peningkatan disebabkan oleh permintaan akan kendaraan roda dua yang dianggap sebagai transportasi yang efisien dan efektif untuk membantu aktivitas manusia setiap harinya.

Sehubungan dengan meningkatnya penggunaan kendaraan roda dua membuat melonjaknya angka penggunaan bahan bakar minyak (BBM) setiap tahunnya. Per Januari 2021, produksi minyak bumi Indonesia sebesar 686.000 barel per harinya,

sedangkan total kebutuhan konsumsi minyak bumi per hari sebesar 1.392.000 barel [2]. Peningkatan ini menyebabkan penurunan kualitas udara akibat polusi dari emisi gas buang hasil pembakaran mesin kendaraan roda dua mencapai 65-85% [3]. Hasil gas buang pada kendaraan secara teoritis mengandung karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon (HC) merupakan unsur yang sangat berbahaya bagi kesehatan, semakin tinggi konsentrasi unsur senyawa tersebut terhirup maka dapat menyebabkan risiko fatal hingga kematian [4].

Dewasa ini, berbagai inovasi yang mengembangkan kendaraan alternatif sebagai pengganti kendaraan roda dua *gasoline-engine*

dilakukan. Kendaraan *electric* menjadi pilihan dikarenakan tidak menghasilkan emisi gas buang, membutuhkan biaya operasional yang rendah dan perawatan lebih sedikit. Namun, beberapa ketidaknyamanan dalam penggunaan kendaraan *electric* seperti, jumlah stasiun pengisian energi terbatas, waktu pengisian ulang energi yang sangat lama, jarak tempuh yang lebih rendah daripada kendaraan *gasoline* [5]. Selain itu, kemacetan menjadi faktor yang dapat merugikan karena terjadi peningkatan jumlah konsumsi energi dan secara signifikan mempengaruhi batas jarak tempuh oleh kendaraan *electric* [6].

Belum efektifnya inovasi dapat diatasi dengan pengoptimalan sumber energi alternatif oleh sistem penggerak *Hybrid Electric Vehicle* (HEVs). Kendaraan *electric hybrid* mengintegrasikan *gasoline-engine* dengan motor *electric* dan baterai secara efektif, memanfaatkan sumber konsumsi sepenuhnya membuat jarak tempuh mengemudi yang lebih jauh dari kendaraan *gasoline-engine*, tetapi memiliki efisiensi tinggi dalam penghematan energi kendaraan *electric* [7]. Namun, penerapan sistem *Hybrid Electric Vehicle* pada kendaraan roda dua masih terdapat permasalahan dalam kinerja sistem *controller* antara sumber daya *gasoline-engine* dengan motor *electric*. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu penunjang pada sistem *controller* yang dapat menambah performansi respon pada pengaturan *controller*, sehingga mencapai keakuratan dan kestabilan sistem yang sesuai diharapkan.

Berangkat dari permasalahan, diajukan algoritma kontrol menggunakan Kalman *Filter* sebagai penerapan untuk menstabilkan *output* data. Untuk memvalidasi efektivitas penerapan algoritma Kalman *Filter* pada sistem *controller*, rancangan ini diusulkan sebagai pengembangan metode eksperimental dengan *microcontroller* pada kendaraan roda dua *electric hybrid*.

2. Dasar Teori

Kalman *Filter* berfungsi untuk mengurangi kuadrat kesalahan diperkirakan pada linier stokastik dengan menerapkan sensor *noise*. Hal ini, berpengaruh untuk meminimalkan peranan kuadrat kesalahan yang diperkirakan pada sistem dinamis oleh gangguan *noise* dan pengukuran. Sehingga, berfungsi untuk mengkaji kinerja dari sistem dan dapat memprediksi suatu kondisi pada sistem dinamis.

Kalman *Filter* terdiri dari dua bagian, yakni prediksi dan pembaruan [8]. Berikut persamaan dari Kalman *Filter* yang ditunjukkan pada (1)-(5)

Bagian Prediksi:

$$\hat{x}_{t|t-1} = F_t \hat{x}_{t-1|t-1} + B_t u_t \quad (1)$$

$$P_{t|t-1} = F_t P_{t-1|t-1} F_t^T + Q_t \quad (2)$$

Bagian Update:

$$\hat{x}_{t|t} = \hat{x}_{t|t-1} + K_t (y_t - H_t \hat{x}_{t|t-1}) \quad (3)$$

$$K_t = P_{t|t-1} H_t^T (H_t P_{t|t-1} H_t^T + R_t)^{-1} \quad (4)$$

$$P_{t|t} = (I - K_t H_t) P_{t|t-1} \quad (5)$$

Keterangan:

x	: Perkiraan kondisi
F	: Matriks kondisi
u	: Variabel kontrol
B	: Matriks kontrol
P	: Matriks varians kondisi
Q	: Matriks varians proses
y	: Variabel pengukuran
H	: Matriks pengukuran
K	: Gain Kalman
R	: Matriks pengukuran
$t t$: Periode waktu sekarang
$t-1 t-1$: Periode waktu sebelumnya
$t t-1$: Tahap peralihan

Persamaan (1) – (5) merupakan model Kalman *Filter* yang tujuannya belum ditentukan. Maka pengaplikasian algoritma Kalman *Filter* dengan tujuan untuk minimalisasi *noise* dari *reading* sensor, dibutuhkan beberapa variasi adaptasi kondisi, sehingga didapatkan penyesuaian sebagai berikut:

1. Memperkirakan kondisi

Adaptasi yang dilakukan pada persamaan (1) dengan memberikan nilai $F_t = 1$ karena tanpa adanya proses transisi pada kondisi. Hal ini membuat sistem yang digunakan tidak mempunyai *input* akibat mengurangi komponen dari *input* sistem. Persamaan dilakukan tahap penyesuaian agar memperoleh tujuan yang ditunjukkan pada (6).

$$x_{t|t-1} = x_{t-1|t-1} \quad (6)$$

2. Memperkirakan kesalahan

Dari $F_t = 1$, maka persamaan (1) menjadi (7).

$$P_{t-1} = P_{t-1|t-1} + Q_t \quad (7)$$

3. Memperbarui nilai status

Dari persamaan (3), data sensor dilakukan tahap *filter* yang hanya melibatkan satu pembacaan sensor, karena $H_t = 1$. Dengan demikian, persamaan (8) yang didapat sebagai berikut:

$$x_{t|t} = x_{t|t-1} + K_t (y_t - x_{t|t-1}) \quad (8)$$

4. Kalkulasi Kalman *Gain*

Dari $H_t = 1$, maka persamaan (4) menjadi (9).

$$K_t = P_{t|t-1} (P_{t|t-1} + R)^{-1} \quad (9)$$

5. Memperbarui nilai *error*

Dari $H_t = 1$, maka persamaan (1) akan diganti menjadi (5)

$$P_{t|t} = (1 - K_t) P_{t|t-1} \quad (10)$$

Setelah tahap penyesuaian, maka didapatkan persamaan algoritma Kalman *Filter* sebagai minimalisasi *noise* dari pembacaan sensor sebagai berikut:

Bagian Prediksi:

$$x_{t|t-1} = x_{t-1|t-1} \quad (11)$$

$$P_{t-1} = P_{t-1|t-1} + Q_t \quad (12)$$

Bagian *Update*:

$$x_{t|t} = x_{t|t-1} + K_t(y_t - x_{t|t-1}) \quad (13)$$

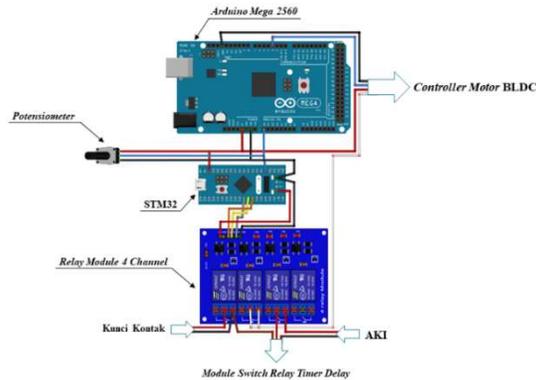
$$K_t = P_{t|t-1}(P_{t|t-1} + R)^{-1} \quad (14)$$

$$P_{t|t} = (1 - K_t)P_{t|t-1} \quad (15)$$

3. Metode Penelitian

Dalam strategi manajemen energi, mode *electric hybrid* hanya menggunakan putaran potensiometer, sebagai *throttle*, dengan batas nilai 20 dari totalnya putaran *throttle* 60. *Throttle* pada sepeda motor terintegrasi dengan sensor potensiometer yang menyebabkan kedua komponen tersebut beroperasi secara bersama.

Dalam konteks instalasi (Gambar 1) dan skema rancangan (Gambar 2), potensiometer memiliki tiga *pin* yang terhubung pada *Arduino Mega 2560*. Ketiga *pin* tersebut tersambung dengan *pin power 5V*, *ground*, dan *analog in (A0)*, sehingga *Arduino Mega 2560* dapat membaca *output* sinyal dari *potensiometer*. *Arduino Mega 2560* diprogram untuk menghasilkan *output* data penentuan kecepatan terhadap sistem penggerak *electric*. Kemudian *pin ground*, *PWM 3*, dan *power 5V* berfungsi untuk mendistribusikan data penentuan kecepatan menuju *controller motor BLDC*. *Output* data yang diterima akan melewati proses pengolahan data pada *controller motor BLDC*, sehingga memperoleh *output* data untuk mengoperasikan *Motor BLDC*.

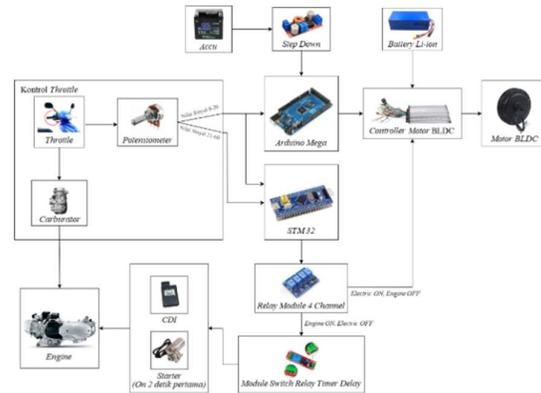


Gambar 1. Instalasi sistem kontrol *electric hybrid*.

Ketiga *pin* potensiometer juga terhubung dengan *pin 3.3*, *A0*, dan *ground* pada *STM 32*. Keluaran sinyal potensiometer didistribusikan menuju *STM32*, proses ini dapat mengontrol perpindahan sumber daya *electric* ke *gasoline-engine* atau sebaliknya. Parameter perpindahan sumber daya ditentukan oleh nilai sinyal dari sensor potensiometer. Selanjutnya *pin 3.3*, *ground*, *B3*, *B4*, serta *B5* pada *STM32* terhubung dengan *pin VCC*, *ground*, *IN1*, *IN2*, dan *IN3* yang berada di *Relay Module 4 Channel*. *STM32* mengirimkan *output* data untuk memerintahkan *Relay*

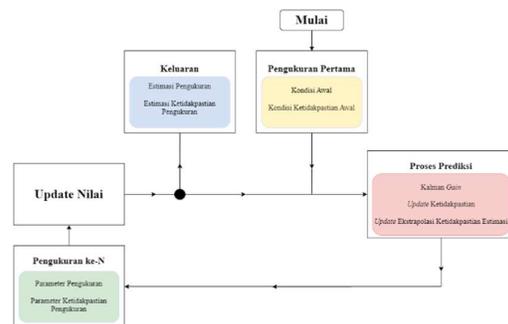
Module 4 Channel dalam menggerakkan pensaklaran peralihan sumber daya.

Ketika sudut bukaan *throttle* dengan nilai sinyal berada antara 0-20, *relay* sistem penggerak *electric* terhubung dan secara impulsif *terminal block channel 3 (K3)* pada *Relay Module 4 Channel* mengirimkan sinyal menuju *controller motor BLDC*. Dengan demikian, *Motor BLDC* beroperasi sebagai penggerak utama dalam menjalankan sepeda motor *electric hybrid*. Sedangkan saat putaran *potensiometer* berada diatas nilai sinyal 20, *relay* sistem penggerak *gasoline-engine* dalam kondisi terhubung. Hal ini, *Terminal block channel 2 (K2)* memberi sinyal menuju *Module Switch Relay Timer Delay* untuk melakukan *starter* awal selama dua detik dengan sumber energi yang berasal dari aki. Keadaan ini mengaktifkan *engine* sebagai sistem penggerak utama dalam menjalankan sepeda motor *electric hybrid*.



Gambar 2. Skema rangkaian sistem kontrol sepeda motor *electric hybrid*.

Pemrograman dirangkai pada *software* *Arduino IDE (Integrated Development Environment)* melalui *source code* yang mampu membuat sistem kontrol beroperasi sesuai skema (Gambar 1) dengan terintegrasi berbasis *Kalman Filter*. Pada sistem estimasi *Kalman Filter* dibagi menjadi dua bagian, yaitu prediksi dan *update* (Gambar 2). Bagian prediksi beroperasi terhadap sistem yang menggunakan hasil prediksi dari keadaan sistem waktu sebelumnya untuk digunakan dalam memprediksi keadaan saat ini. Sedangkan bagian *update* adalah data yang diperoleh dari sebelumnya digunakan dalam memprediksi hasil dengan diperoleh saat keadaan sekarang.



Gambar 3. Proses Algoritma *Kalman Filter*.

Dalam mendeteksi ketepatan serta akurasi dari hasil prediksi, ada beberapa kriteria terhadap pemilihan model terbaik dengan didasarkan oleh nilai *error* yang rendah. Namun saat nilai *error* tinggi, maka akurasi peramalan yang dilakukan belum akurat. Sebagai analisis kuantitatif, penerapan *Mean Absolute Error (MAE)* dilakukan dengan model hasil regresi polinomial sebagai pembanding tetap. Kajian penggunaan model ini dilandasi oleh pendekatan yang paling memungkinkan untuk diterapkan karena tidak adanya persamaan eksplisit yang menggambarkan hubungan kedua variabel (sudut bukaan *throttle* dan *RPM*). Secara intuitif, *MAE* mampu merepresentasikan *noise* untuk data *non-linear*.

Tahap pengujian menggunakan model komparatif dua *sample* untuk menentukan antara sistem kontrol tanpa dan dengan Kalman *Filter* terdapat perbedaan atau memperoleh penerapan yang satu lebih baik dari penerapan lainnya.

4. Hasil dan Pembahasan

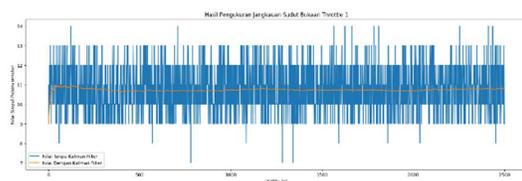
4.1 Hasil Rancangan

Berdasarkan rancangan, sistem kontrol kendaraan *electric hybrid* diimplementasikan pada sepeda motor *matic* Spin 125 Suzuki (Gambar 4).



Gambar 4. Hasil rancangan sistem kontrol sepeda motor *electric hybrid*.

Sistem kontrol berfungsi dalam mengatur beberapa sistem perangkat untuk menghasilkan strategi manajemen energi antara sistem penggerak *electric* dengan sistem penggerak *gasoline-engine*. Dalam penerapannya, konfigurasi *electric hybrid* pada sepeda motor *matic* Spin 125 Suzuki menggunakan jenis konfigurasi *parallel* sehingga aliran daya dari sumber energi dapat bekerja secara bersama atau terpisah.



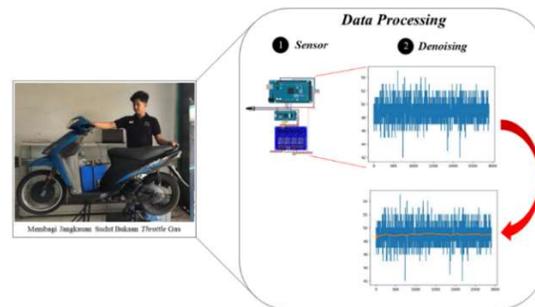
(a)

Uji fungsionalitas dengan mengobservasi sistem kontrol dapat berjalan atau tidak sesuai dengan perancangan telah dilakukan. Merujuk terkait hasil, sistem kontrol mampu berjalan sesuai rancangan secara menyeluruh pada sistem penggerak *gasoline-engine* dan *electric* dengan melakukan peralihan antara kedua sistem penggerak tersebut. Namun, melihat dari hasil pembacaan sensor potensiometer sepeda motor *electric hybrid*, sensor masih menunjukkan adanya fluktuasi nilai sudut *throttle* pada sudut bukaan yang sama. Oleh karena itu, fluktuasi ini diminimalisasi dengan algoritma Kalman *Filter* sehingga kestabilan *output* data yang dihasilkan lebih optimal.

4.2 Pengujian Sistem Kontrol Sepeda Motor *Electric Hybrid* Berbasis Kalman *Filter*

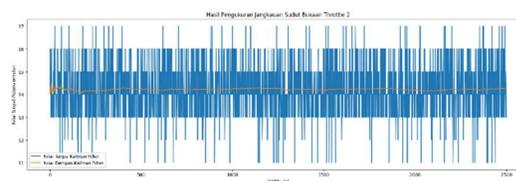
4.2.1 Fungsionalitas Sensor Potensiometer

Proses variasi putaran *throttle* dilakukan secara berurutan dengan membagi jangkauan sudut bukaan *throttle* yang dimulai dari sudut terkecil hingga mencapai terbesar. Dengan cara ini, sudut bukaan *throttle* diperoleh dalam sembilan bagian yang memiliki nilai sinyal berbeda pada setiap pengambilannya.

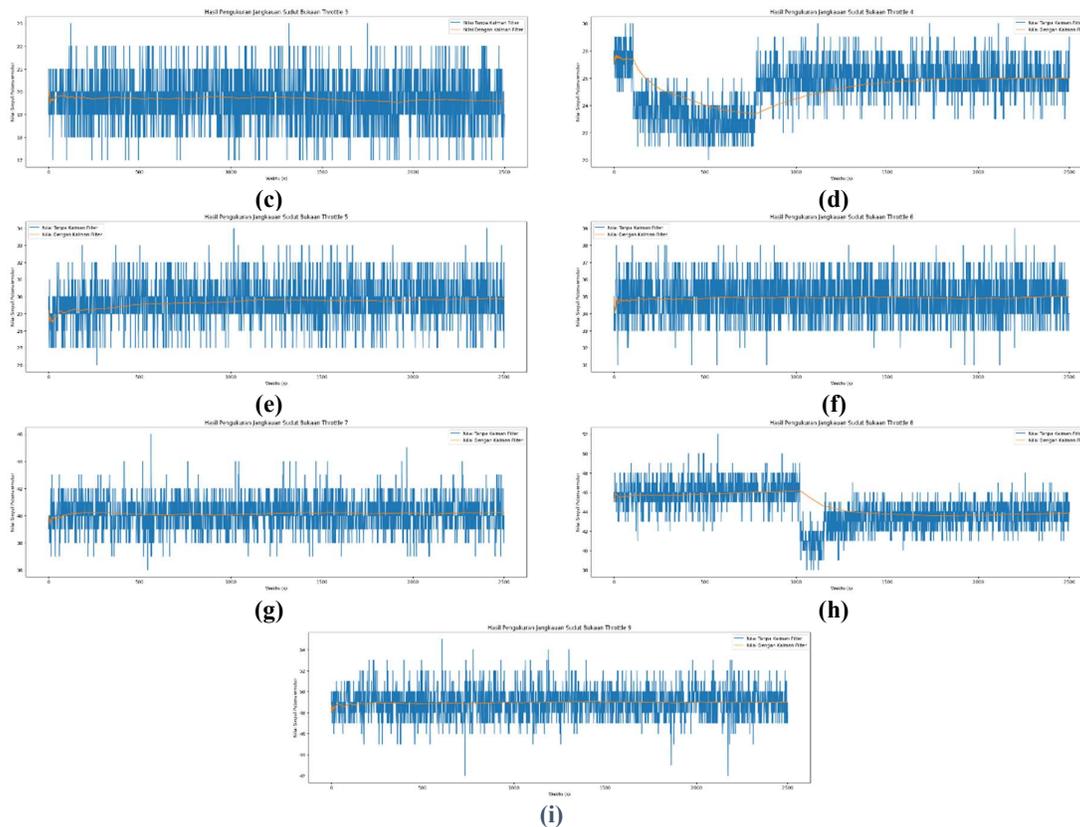


Gambar 5. Skema pengukuran nilai sinyal sensor potensiometer dari sudut bukaan *throttle*.

Nilai sinyal sensor potensiometer pada sistem kontrol melewati proses *denoising* dengan menggunakan Kalman *Filter*. *Noise* dapat terjadi selama akuisisi nilai sinyal pada sensor sehingga proses *denoising* diterapkan untuk mendapatkan nilai sinyal dari sensor yang lebih valid. Algoritma *filter* memiliki kemampuan dalam *denoising* data *real-time* dengan baik. Secara sederhana, Kalman *Filter* melakukan proses iterasi guna memperbaharui prediksi di setiap iterasi. Sebagai hasil pengukuran dari nilai sinyal sensor potensiometer divisualisasikan pada Gambar 6.



(b)



Gambar 6. Hasil pengukuran jangkauan sudut bukaan *throttle* pada (a). variasi pertama, (b). variasi kedua, (c). variasi ketiga, (d). variasi keempat, (e). variasi kelima, (f). variasi keenam, (g). variasi ketujuh, (h). variasi kedelapan, dan (i). variasi kesembilan.

Gambar 6 menunjukkan grafik perbandingan nilai sinyal potensiometer tanpa dan dengan Kalman *Filter* yang berturut-turut ditandai oleh warna biru dan jingga. Grafik menjelaskan bahwa kinerja sensor tidak konsisten dalam memprediksi suatu nilai (pada posisi *throttle* yang sama) sebelum diterapkan Kalman *Filter*. Setelah penerapan Kalman *Filter*, sinyal secara langsung menunjukkan adanya pembaharuan nilai berupa reduksi *noise* pada posisi *throttle* yang sama. Dengan demikian, interpretasi data sudut bukaan *throttle* yang dihasilkan sinyal sensor akan lebih baik dan lebih stabil. Secara spesifik, Gambar 6. (a), (b), (c), (e), (f), (g), (i), dengan penuh memberikan grafik nilai yang cenderung konstan pada sudut bukaan *throttle* yang sama. Gambar 6. (d) dan (h) menunjukkan adanya kecenderungan perubahan nilai yang terjadi pada sudut bukaan *throttle* yang sama. Terlepas dari hal tersebut, prediksi oleh Kalman *Filter* tetap dapat memberikan prediksi mengikuti tren perubahan kecenderungan nilai yang terjadi. Secara komprehensif, algoritma ini dapat dikatakan menjadi reduktor *noise* yang baik dalam kondisi sensor potensiometer pada sepeda motor *electric hybrid*.

Mendukung hasil pengamatan grafik komparasi, perbandingan standar deviasi antara pengukuran sinyal potensiometer tanpa dan dengan Kalman *Filter* turut dilakukan. Secara intuitif, penggunaan standar

deviasi dilakukan dengan dasar *metrics* yang mampu memberikan sebaran data sehingga dapat merepresentasikan *noise* pada satu pengukuran yang sama. Penghimpunan data standar deviasi tanpa dan dengan Kalman *Filter*, serta optimalisasi yang terjadi di setiap pengukuran dilakukan pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengamatan *noise* pengukuran jangkauan sudut bukaan *throttle*.

Sudut Bukaan <i>Throttle</i> Variasi Ke-N	Standar Deviasi Tanpa Kalman <i>Filter</i>	Standar Deviasi Dengan Kalman <i>Filter</i>	Optimalisasi Reduksi <i>Noise</i> (%)
1	1,204	0,579	51,9
2	1,181	0,031	97,3
3	1,168	0,087	92,5
4	1,185	0,813	31,4
5	1,225	0,226	81,5
6	1,251	0,040	96,8
7	1,212	0,047	96,1
8	1,972	1,019	48,3
9	1,415	0,135	90,4

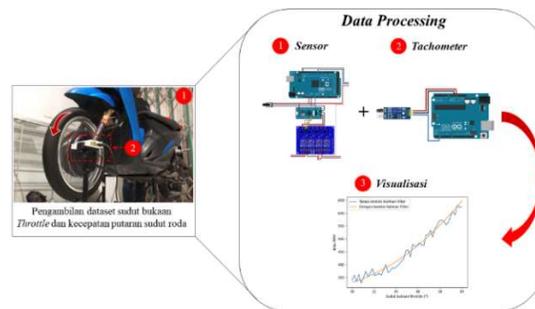
Dari sembilan pengukuran yang dilakukan, terdapat dua pengukuran yang dieksklusi dalam

analisis komparasi karena tidak menunjukkan tren yang konstan, yaitu pada pengukuran keempat dan kedelapan. Rentangan nilai *noise* di data sistem kontrol tanpa Kalman *Filter* dan berbasis Kalman *Filter* berturut-turut menunjukkan nilai 1,168-1,415 dan 0,031-0,579. Optimalisasi yang terjadi memiliki rentangan 51,9% - 97,3%. Secara garis besar, algoritma Kalman *Filter* memberikan optimalisasi melebihi nilai *threshold* 80%, yang mengindikasikan algoritma sistem kontrol yang baik untuk diimplementasikan [9].

4.2.2 Perbandingan Kecepatan Sudut Putaran Roda pada Sistem Kontrol Tanpa dan Dengan Kalman *Filter*.

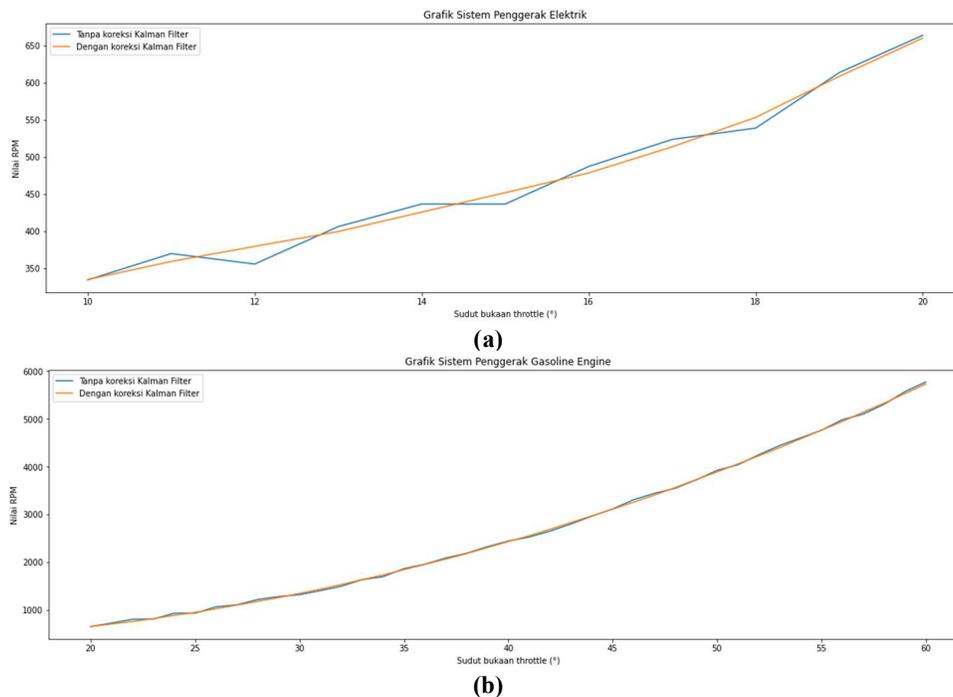
Pengukuran kecepatan putaran sudut roda setiap sistem penggerak dilakukan dengan menggunakan *Tachometer*. Pengukuran putaran sudut roda dilaksanakan mulai dari kecepatan terendah hingga tertinggi yang dikontrol oleh pengguna melalui putaran *throttle*. Secara khusus, *Tachometer* dirancang menggunakan *microcontroller* Arduino Uno dengan dilengkapi *Infrared* sensor. Beriringan tahapan tersebut, pengukuran juga diperoleh melalui sistem kontrol dengan sensor *potensiometer*. Tahapan

pengukuran sudut bukaan *throttle* dan kecepatan putaran sudut roda diilustrasikan pada gambar 7.



Gambar 7. Skema pengukuran dengan sistem kontrol terintegrasi berbasis Kalman *Filter*.

Observasi melalui grafik dilakukan untuk melihat koreksi yang dihasilkan oleh algoritma Kalman *Filter* terhadap hubungan *output* data sistem kontrol (nilai sinyal) dengan kecepatan sepeda motor *electric hybrid*. Secara intuitif, perolehan hasil mampu mengindikasikan pengaruh terhadap peningkatan performa sistem kontrol. Visualisasi grafik hasil pengukuran ditunjukkan oleh gambar dibawah ini.



Gambar 7. Grafik hasil data sudut bukaan *throttle* dan kecepatan putaran sudut roda pada (a). sistem penggerak *electric* dan (b). sistem penggerak *gasoline-engine*.

Observasi dapat dilakukan berdasarkan penurunan *noise* yang terjadi pada kondisi sistem kontrol tanpa Kalman *Filter* serta berbasis Kalman *Filter*. Namun, adanya batasan terhadap pengukuran yang terjadi. Observasi tidak dapat diterapkan pada saat pengukuran sudut bukaan *throttle* dengan nilai

sinyal 0-9 dikarenakan rentangan nilai tersebut relatif sulit untuk direkam. Dengan demikian, proses pengukuran hanya dilakukan di rentang nilai sinyal potensiometer 10-20 untuk penggerak *electric* dan 21-60 untuk penggerak *gasoline-engine*, dengan nilai sinyal 60 merupakan batas atas dari sudut bukaan

throttle. Sebagai hasil visualisasi, grafik pada Gambar 9. (a) dan (b) menunjukkan hubungan sudut bukaan *throttle* dan RPM pada penggerak *electric* dan *gasoline-engine*. Secara intuitif, reduksi *noise* terjadi dari penurunan fluktuatif di grafik tersebut.

Pada penggerak *electric*, sistem kontrol tanpa Kalman *Filter* memperoleh nilai *MAE* sebesar 110,22302055747917. Hasil ini relatif tinggi apabila dibandingkan dengan nilai *MAE* sistem kontrol berbasis Kalman *Filter* yang mendapatkan nilai 21,472483931861518. Secara langsung, kemampuan Kalman *Filter* dalam mereduksi *noise* memberikan akurasi kontrol yang lebih optimal. Hal ini didukung oleh validasi efektivitas penerapan Kalman *Filter* yang menunjukkan pengoptimalan performa sistem kontrol mencapai 80,5%. Pada penggerak *gasoline-engine*, sistem kontrol tanpa Kalman *Filter* memberikan nilai *MAE* sebesar 1016,6124143510335. Setelah penerapan Kalman *Filter*, sistem kontrol memberikan nilai *MAE* yang relatif lebih rendah, yakni sebesar 112,81633294137714. Pengoptimalan performansi sistem kontrol penggerak *gasoline-engine* berhasil mencapai 88,9%.

Secara keseluruhan, berhasilnya pendekatan estimasi nilai sinyal terhadap kecepatan putaran sudut roda membuktikan kinerja sistem kontrol berbasis Kalman *Filter* berjalan dengan baik dalam menyesuaikan strategi kontrol yang berdampak pada peningkatan performa kendaraan. Dengan demikian, sistem kontrol berbasis Kalman *Filter* efisien dalam peningkatan potensi kestabilan nilai sinyal melalui proses minimalisasi *statistical noise*.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang telah dijabarkan maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Sistem kontrol kendaraan *electric hybrid* roda dua dikembangkan melalui metode eksperimental sebagai dasar penilaian efektivitas penerapan. Observasi terhadap uji fungsionalitas menunjukkan sistem kontrol mampu beroperasi sesuai rancangan secara menyeluruh pada sistem penggerak *gasoline-engine* dan *electric*. Didukung dengan peralihan sistem penggerak yang bersesuaian terhadap ketentuan parameter.
2. Meninjau sistem kontrol berbasis Kalman *Filter*, perolehan hasil memperlihatkan peningkatan kemampuan akurasi dalam stabilitas penyampaian nilai sinyal menjadi lebih optimal. Hasil estimasi pembaharuan nilai sinyal tersebut berkaitan terhadap *statistical noise* sensor yang telah berhasil di minimalisasi dengan tahapan rekursif dari pembentukan koreksi nilai sebelumnya. Hasil yang ditunjukkan berupa *Mean Absolute Error (MAE)* pada sistem penggerak *electric* sebesar 80,5% dan sistem penggerak *gasoline-engine* mencapai 88,9%. Secara keseluruhan, nilai-nilai optimasi yang ditunjukkan melebihi *threshold* 80% sehingga algoritma ini layak diterapkan.

Daftar Pustaka

- [1] “Badan Pusat Statistik.”

<https://www.bps.go.id/indicator/17/57/1/jumlah-kendaraan-bermotor.html> (accessed Apr. 07, 2023).

- [2] D. M. Yulanto *et al.*, “Studi analisis perkembangan teknologi kendaraan listrik hibrida,” vol. 02, no. 1, pp. 31–44, 2021.
- [3] J. Al Harier, F. Herlina, and Jainal Arifin, “Bahan Bakar Terhadap Emisi Gas Buang Motor Matik Injeksi,” *J. Univ. Islam Kalimantan MAB*, pp. 0–7, 2022.
- [4] S. Machmud, “Analisis Pengaruh Tahun Perakitan Terhadap Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor,” *J. Mesin Nusant.*, vol. 4, no. 1, pp. 21–29, 2021, doi: 10.29407/jmn.v4i1.16038.
- [5] H. Mao, J. Shi, Y. Zhou, and G. Zhang, “The Electric Vehicle Routing Problem with Time Windows and Multiple Recharging Options,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 114864–114875, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3003000.
- [6] J. Lu, Y. Chen, J. Hao, and R. He, “Expert Systems with Applications The Time-dependent Electric Vehicle Routing Problem : Model and solution,” vol. 161, 2020, doi: 10.1016/j.eswa.2020.113593.
- [7] Y. Zou *et al.*, “Modeling and energy management strategy research of a power-split hybrid electric vehicle,” *Adv. Mech. Eng.*, vol. 12, no. 10, pp. 1–14, 2020, doi: 10.1177/1687814020962624.
- [8] A. Ma’arif, I. Iswanto, A. A. Nuryono, and R. I. Alfian, “Kalman Filter for Noise Reducer on Sensor Readings,” *Signal Image Process. Lett.*, vol. 1, no. 2, pp. 11–22, 2019, doi: 10.31763/simple.v1i2.2.
- [9] S. R. Hosmer DW Jr, Lemeshow S, *Applied logistic regression.*, 3rd ed. New Jersey: John Wiley & Sons; 2013., 2022.



I Nyoman Bima Permana menyelesaikan studi program sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2019 sampai 2023. Bidang penelitian yang diminati adalah sistem kendali otomatis dengan konsentrasi Rekayasa Manufaktur.

RE-DESIGN SISTEM KEMUDI KENDARAAN BIO-HYBRID OBHI-MEC UNUD DENGAN MENGGUNAKAN SINGLE TIE ROD

Kevin Daniel Markheshiwan, I Made Gatot Karohika, I Made Widiyarta
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Sistem kemudi pada kendaraan Bio-Hybrid OBHI-Mec Unud memiliki permasalahan yang pada saat dikemudikan dimana pengemudi merasakan berat yang berlebih disaat memutar kemudi dari kendaraan Bio-Hybrid OBHI-Mec Unud. Sistem kemudi yang terpasang saat ini adalah dengan menggunakan 2 buah tie rod yang terpasang langsung terhadap steering joint. Pada penelitian dilakukan pengujian terhadap struktur kemudi baru dengan menggunakan 1 buah tie rod Panjang sebagai pengganti 2 buah tie rod yang terhubung dengan steering joint dan 1 buah tie rod pendek sebagai penghubung antara steering joint dan tie rod Panjang tersebut. Pengujian dilakukan secara statis dengan kondisi kendaraan dengan 1 pengemudi ditambah 2 penumpang yang dilakukan pada permukaan jalan aspal. Analisa dilakukan terhadap nilai momen dan juga nilai gaya yang dihasilkan saat memutar stang kemudi. Hasil dari penelitian ini penggunaan sistem kemudi single tie rod berhasil mereduksi gaya maupun momen saat memutar stang kemudi dalam keadaan statis sebesar 37,12% yang memberikan efek perasaan lebih ringan dan mudah dalam memutar kemudi kendaraan Bio-Hybrid OBHI-Mec Unud.

Kata kunci Tie rod steering, gaya, momen

Abstract

Steering system on the Bio-Hybrid OBHI-Mec Unud vehicle has problem when being use where the driver feels difficult when turning the steering wheel of the Bio-Hybrid OBHI-Mec Unud vehicle. The steering system currently installed uses 2 tie rods which are attached directly to the steering joint. In the research, testing was carried out on a new steering structure using 1 long tie rod as a replacement for 2 tie rods that connected to the steering joint and 1 short tie rod as a connector between the steering joint and the long tie rod. The test was do statically with a vehicle with 1 driver plus 2 passengers carried out on the asphalt surface. Analysis was carried out on the moment value and also the force value produced when turning the steering handlebar. The results of this research using a single tie rod steering system succeeded in reducing the force and moment when turning the steering handlebar in a static condition by 37.12% which gave the effect of feeling lighter and easier when turning the steering wheel of the Bio-Hybrid OBHI-Mec Unud vehicle.

Keywords: Tie rod steering, force, moment

1. Pendahuluan

Penjualan dan pengembangan kendaraan elektrifikasi mengalami peningkatan. Semakin banyak penggunaan kendaraan listrik maka diperlukan usaha untuk merancang sebuah kendaraan yang mudah dikendarai, nyaman, berperforma baik dan aman. Salah satu aspek penunjang pada pengalaman berkendara adalah sistem kemudi.

Sistem kemudi adalah sebuah mekanisme dalam kendaraan yang berguna untuk mengendalikan dan mengubah arah roda. Perubahan arah gerak roda ini dilakukan dengan cara mengubah arah dua buah roda depan kendaraan. Adapun proses kerja sistem kemudi yaitu dengan roda kemudi (steering wheel) diputar gaya yang diperoleh akan diteruskan oleh kolom kemudi (steering column) ke dalam *steering gear*. Pada *steering gear* terdapat perbesaran momen putar yang menghasilkan gaya yang lebih besar untuk meneruskan putaran yang terhubung lewat sambungan kemudi (steering linkage). Terdapat dua tipe sistem

kemudi secara umum, yaitu sistem kemudi manual lalu sistem kemudi power steering¹.

Sistem kemudi yang ada pada mobil biohybrid OBHI-Mec saat ini memanfaatkan sistem kemudi manual dengan mekanisme sederhana tie rod. Sistem ini lebih murah dan sederhana dibanding dengan sistem kemudi lainnya. Sistem ini terdiri dari beberapa bagian utama meliputi stang kemudi, dua buah batang penghubung, dua buah tie-rod, dan sebuah penghubung konfigurasi V. semua bagian dari sistem tersebut harus mampu menopang beban saat kendaraan melakukan pergerakan yang mana beban terbesar yang harus ditopang adalah ketika beban saat kendaraan berbelok.

Oleh karena itu, dilakukan penelitian tentang pengaruh penggunaan single tie rod terhadap gaya maksimum yang diperlukan saat membelokkan roda pada jalan aspal. Batasan penelitian ditetapkan untuk membatasi lingkup dalam penelitian ini yang meliputi:

1. Sistem kemudi yang menjadi perbandingan adalah sistem kemudi saat ini (double tie rod)

dengan sistem kemudi modifikasi (single tie rod).

2. Pengujian dilakukan pada permukaan jalan aspal.

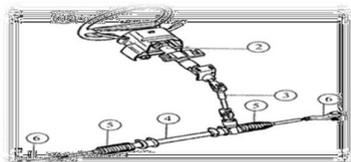
2. Dasar Teori

2.1. Sistem Kemudi

Sistem kemudi adalah salah satu aspek penting terhadap kendaraan yang memiliki fungsi untuk mengatur serta mengarahkan arah gerak kendaraan dengan mengendalikan roda. Sistem kemudi secara umum terdiri dari beberapa komponen seperti steering column, steering gear, dan steering linkage. Steering column berperan dalam meneruskan gaya dari kemudi ke roda gigi kemudi, steering gear berperan dalam membuat tenaga yang lebih besar untuk membuat roda bergerak dengan memperbesar momen putar kemudi, dan steering linkage berfungsi untuk melanjutkan gaya dari steering gear ke roda kemudi. Terdapat dua jenis sistem kemudi dimana diantaranya adalah sistem kemudi manual dan sistem kemudi dengan power steering².

2.2. Steering Column

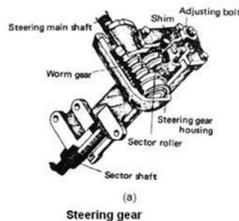
Kolom kemudi (steering column) terhubung langsung dengan pengemudi dengan memiliki beberapa komponen yang terdiri dari batang kemudi (main shaft) yang bekerja meneruskan input pengemudi dari roda kemudi (steering wheel) ke steering gear.



Gambar 1. Steering Column

2.3. Steering Gear

Komponen ini berguna untuk meningkatkan momen putar untuk memperoleh gaya yang lebih besar untuk disalurkan ke masing-masing roda penggerak melalui steering linkage.

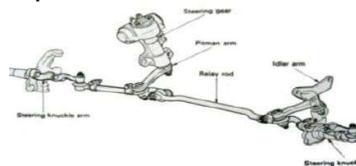


Gambar 2. Steering Column

2.4. Steering Linkage

Sambungan kemudi (steering linkage) memiliki dua komponen besar yang berfungsi untuk meneruskan gaya yang terjadi pada steering gear menuju roda depan, yaitu rod dan arm. Walaupun kendaraan bergerak dinamis secara vertikal, tetapi

putaran yang berasal dari steering wheel harus tetap diteruskan ke masing-masing roda depan dengan presisi disetiap waktu.



Gambar 3. Steering Column

2.5. Deformasi

Gaya adalah aksi suatu komponen kepada komponen lain. Suatu benda memiliki kecenderungan untuk bergerak sesuai dengan arah gaya yang mempengaruhinya. Gaya mempunyai titik tangkap, arah, dan besar oleh karena itu gaya merupakan besaran vektor (amisyam nasution, 2016). Dalam Principia (1687) oleh F. Cajori, University of California Press, 1934 Sir Isaac Newton menyatakan secara rinci hukum dasar yang menyatakan gerak benda. Hukum tersebut dijelaskan seperti berikut :

Hukum I menyatakan “Suatu partikel tetap berada dalam keadaan diam atau selalu bergerak dengan kecepatan konstan, jika padanya tidak bekerja gaya yang tak seimbang”. Hukum I ditulis sebagai :

$$\sum F = P/A \dots \dots \dots (1)$$

Hukum II menyatakan “Percepatan suatu partikel berbanding lurus dengan resultan gaya yang bekerja padanya dan mempunyai arah yang sama dengan arah gaya tersebut”. Hukum II dinyatakan sebagai :

$$\sum F = m \cdot a \dots \dots \dots (2)$$

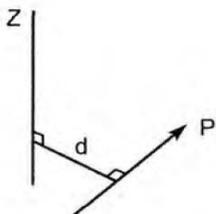
Hukum III menyatakan “Gaya aksi dan gaya reaksi antar benda yang bersinggungan adalah sepadan, berkebalikan arah, titik tangkapnya berada pada titik kontak dan garis kerjanya terdapat dalam satu garis lurus. Hukum III dinyatakan sebagai :

$$F \text{ aksi} = F \text{ reaksi} \dots \dots \dots (3)$$

Gaya terbagi menjadi dua yaitu gaya terkonsentrasi dan gaya teredarkan. Karena setiap gaya kontak beraksi pada satuan luas tertentu. Apabila area luas kontak akibat gaya jauh lebih kecil dengan ukuran lainnya karena itu gaya dapat disebut sebagai gaya yang terkonsentrasi satu titik. Pada benda yang dibebani, gaya yang bekerja dapat digolongkan dalam gaya luar dan gaya dalam. Gaya luar adalah gaya yang bekerja pada parasan benda. Sedangkan gaya dalam merupakan gaya yang bekerja di bagian internal benda³.

2.5. Momen

Selain sebagai penyebab benda bergerak secara translasi, gaya memiliki kemampuan untuk menjadi penyebab gerak rotasi yang disebut momen dari gaya yang bekerja terhadap sumbu yang ditentukan⁴. Pada gambar 3 gaya ditunjukkan oleh P dan gaya tersebut menyebabkan kecenderungan benda berputar terhadap sumbu.



Gambar 3. Vektor Momen

Pada gambar 3 bisa dilihat bahwa momen adalah vektor yang vertikal terhadap benda. Pada dasarnya arah momen didefinisikan dengan penggunaan kaidah tangan kanan yang menyatakan jika ke empat jari tangan kanan searah dengan arah momen, maka arah vektor sama pada arah yang dituju oleh ibu jari. Aturan tersebut jelas menggambarkan vektor momen pada gambar 3.

Pada penelitian ini ada beberapa variabel yang akan dikontrol yaitu :

1. Pengujian ini menggunakan variasi penggunaan sistem kemudi lama (dengan 2 *tie rod* pada *linkage*) dan modifikasi (dengan 1 *long tie rod* pada *linkage*).
2. Beban yang digunakan adalah 210 Kg dari adanya 3 penumpang dalam kendaraan OBHI-Mec Unud.

3. Metode Penelitian

3.1. Alat

Alat yang dipakai untuk membantu penelitian ini merupakan perangkat torque gauge Untuk membantu dalam perhitungan gaya pada sistem kemudi kemudi digunakan alat pengukur torsi “Mxita” dengan model MT2-200Nm yang terpasang pada poros sistem kemudi.



Gambar 4. Torque Gauge

3.2. Variabel bebas

1. Desain Struktur Kemudi

Dalam penelitian ini dilakukan perbandingan antara dua desain struktur kemudi antara kemudi existing dan yang baru. Desain struktur yang ada pada saat ini dengan konfigurasi dua buah *tie rod* yang langsung terhubung ke dua roda depan, model ke dua dengan satu buah *tie rod* menghubungkan ke roda bagian kanan yang diteruskan oleh satu buah *tie rod* lainnya ke roda bagian kiri. Kedua desain struktur tersebut di uji pada dua permukaan jalan berbeda yaitu pada jalan aspal dan jalan beton.

2. Jumlah Beban Pada Roda

Jumlah beban di setiap roda dengan menghitung beban pada roda depan pada saat kendaraan diisi dengan pengemudi ditambah dengan 2 orang penumpang.

3.3. Variabel Terikat

1. Momen Kopel

Momen kopel pada sistem kemudi merupakan out-put yang dihasilkan kemudian dilakukan pengumpulan dan analisis data pada penelitian ini.

2. Gaya Maksimum untuk Memutar Kemudi

Gaya maksimum yang digunakan adalah gaya maksimum untuk memutar kemudi saat keadaan statis.

4. Hasil dan Pembahasan

Dari penelitian yang telah dilakukan, diperoleh torsi kemudi seperti pada tabel berikut.

Tabel 1. Torsi Maksimal Pada Stang Kemudi Pada Jalan Aspal

Torsi Maksimal (Nm)	Lama	Baru
Belok Kanan	56,70	33,70
Belok Kiri	35,30	22,80

Sistem Kemudi lama adalah sistem kemudi yang menggunakan dua buah *tie rod* sebagai steering relay nya sedangkan yang baru merupakan desain modifikasi yang menggunakan single *tie rod* pada bagian steering relaynya. Berikut Gambar yang didapat dari alat torque gauge yang dipakai saat melakukan pengujian. Dari data Tabel 1. didapat bahwa penggunaan single *tie rod* mampu mereduksi torsi maksimal dari sistem kemudi dengan menggunakan 2 buah *tie rod* dengan menghasilkan efisiensi rata-rata sebesar 37,99 %.



Gambar 5. Torsi Maskimal Sistem Kemudi Lama Saat Berbelok ke Kiri



Gambar 6. Torsi Maskimal Sistem Kemudi Lama Saat Berbelok ke Kanan



Gambar 7. Torsi Maskimal Sistem Kemudi Modifikasi Saat Berbelok ke Kiri



Gambar 8. Torsi Maskimal Sistem Kemudi Modifikasi Saat Berbelok ke Kanan

Dari torsi yang dihasilkan oleh Torque gauge dapat diketahui gaya yang diperlukan untuk membelokkan roda pada stang kemudi dengan

menggunakan perhitungan dengan rumus dibawah ini :

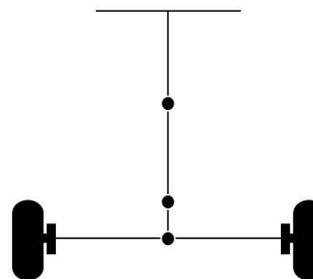
$$F = \frac{\tau}{r} \dots\dots\dots(4)$$

Tabel 2. Gaya yang diperlukan untuk membelokkan ban pada stang kemudi

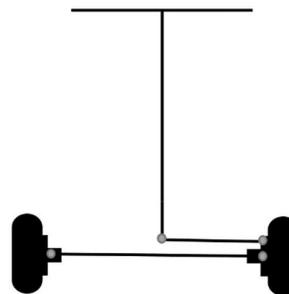
Gaya Maksimal (N)	Lama	Baru
Belok Kanan	113,4	67,40
Belok Kiri	70,60	45,60

Hasil pada Tabel 2. Didapatkan dengan membagi Torsi Pada Tabel 1. Dengan Panjang stang kemudi yang memiliki Panjang sebesar 50cm (0,5m). Dari hasil perhitungan gaya dapat diketahui bahwa dengan penggunaan single tie rod berhasil menghasilkan efisiensi secara rata-rata sebesar 37,99%.

Dapat dilihat dengan sistem kemudi baru yaitu dengan menggunakan single tie rod pada bagian relay kendaraan Bio-Hybrid OBHI-Mec Unud dapat mengurangi Torsi maupun Gaya untuk membelokkan roda. Hal tersebut terjadi akibat adanya perbedaan Panjang tumpuan torsi pada relay yang dimana pada single tie rod tumpuan torsi berada persis ditengah-tengah kedua Tie-Rod sedangkan dengan sistem kemudi baru memiliki tumpuan torsi yang lebih Panjang dibanding yang sebelumnya karena tumpuan dari steering joint berada di ujung kiri tie rod yang dihubungkan 1 tie rod pendek dari steering joint ke tie rod pada relay sistem kemudi.



Gambar 9. Model Steering Pada Sistem Kemudi Lama



Gambar 10. Model Steering Pada Sistem Kemudi Baru



Gambar 11. duduk steering bawah yang menghubungkan Tie rod bagian depan kanan dan kiri dengan batang bawah kemudi (Pada Sistem Kemudi Lama).



Gambar 12. duduk steering bawah yang menghubungkan Long Tie rod bagian depan kanan dan kiri dengan Tie Rod yang terhubung pada Steering Joint.

1. Penelitian terhadap kondisi kendaraan Bio Hybrid OBHI-Mec Unud pada distribusi beban kendaraan secara lebih mendalam.
2. Penelitian lebih lanjut pada keseluruhan sistem kemudi Kendaraan Bio Hybrid OBHI-Mec Unud.
3. Penelitian menggunakan sistem kemudi lain pada kendaraan Bio Hybrid OBHI-Mec Unud.

Daftar Pustaka

1. Artika, K. D., Syahyuniar, R., & Priono, N. (2017). Perancangan Sistem Kemudi Manual Pada Mobil Listrik. Elemen: Jurnal Teknik Mesin, 4(1), 01-06.2. Popov E., ed., 1984, *Mekanika Teknik*. PT. Erlangga Jakarta.
2. Amisyam nasution. (2016). Statika Struktur. 1-167.
3. Hilmi, B. W. S. (2021). Analisa Mekanisme Rack Steer Mobil Listrik Otonom. Almikanika, 2(3), 87-94.
4. I Widiyarta, I. M., Kumara, I. N. S., Parwata, I. M., & Karohika, I. M. G. (2021). Analisa Kebutuhan Daya Kendaraan Listrik. Xxx, 24-26.



Kevin Daniel Markheshiwan menyelesaikan program sarjana di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana pada tahun 2024.

Judul tugas akhir Re-Design Sistem Kemudi Kendaraan Bio-Hybrid OBHI-Mec UNUD Dengan Menggunakan Single Tie Rod

5. Kesimpulan dan Saran

Didapatkan kesimpulan bahwa dengan penggunaan steering dengan sistem long tie-rod dapat mengurangi momen dan gaya torsi rata-rata sebesar 37,99% dimana saat berbelok kanan sistem kemudi dapat mereduksi gaya sebesar 32,42 N dan saat berbelok ke kiri dapat mereduksi gaya sebesar 18,94 N. Pada penelitian ini masi terdapat perbedaan gaya maupun torsi saat berbelok kanan maupun berbelok ke kiri Maka dari itu untuk selanjutnya penulis menyampaikan saran sebagai berikut:

Pengaruh Variasi Temperatur Kerja Reaktor terhadap Volume Minyak Hasil Pirolisis pada Jenis Plastik PP

Izhar Adji Arta, I Nengah Suarnadwipa, dan Ketut Astawa
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit, Jimbaran Bali

Abstrak

Tujuan utama dari penelitian ini adalah menganalisis pengaruh variasi temperatur kerja reaktor terhadap unjuk kerja sistem pirolisis pada jenis plastik PP terhadap volume minyak. Digunakan total 3 kg sampah plastik jenis PP dengan 3 perlakuan temperatur yaitu 300°C, 350°C, dan 400°C dalam penelitian ini. Bahan utama penelitian adalah plastik bening. Tahapan yang dilakukan yaitu persiapan alat dan bahan, pengujian alat, perlakuan penelitian, diakhiri dengan pengolahan data. Hasil volume minyak yang didapatkan berbeda setiap perlakuan temperatur yang diberikan, yaitu 332 mL untuk temperatur 300°C; 658 mL untuk temperatur 350°C; 830 mL untuk temperatur 400°C.

Kata Kunci : Pirolisis, plastik PP, volume minyak, temperatur

Abstract

The purpose of this research is to analyze the effect of variations in reactor working temperature on the performance of the PP plastic pyrolysis system on oil volume. A total of 3 kg of PP type plastic waste was used with 3 temperature treatments, namely 300°C, 350°C and 400°C in this research. The main research material is clear plastic. The stages carried out are preparation of tools and materials, testing tools, research treatment, ending with data processing. The resulting volume of oil obtained was different for each temperature treatment given, namely 332 mL for a temperature of 300°C; 658 mL for a temperature of 350°C; 830 mL for a temperature of 400°C.

Keyword s: Pyrolysis, PP plastic, oil volume, temperature

1. Pendahuluan

Sampah plastik merupakan jenis sampah dengan penyumbang ancaman serius terhadap lingkungan, hal tersebut didasari karena semakin besarnya jumlah sampah plastik yang dihasilkan. KLHK menyatakan bahwa tahun 2021 di Indonesia tercatat 68,5 ton volume sampah kemudian menjadi 70 juta ton di tahun 2022. Berdasarkan angka tersebut, 24% sampah tersebut tidak terkelola dengan baik [1]. Salah satu provinsi di Indonesia yang turut menyumbangkan sampah adalah provinsi Bali. Dilansir dari databoks.com berdasarkan data KLHK, pada tahun 2021 provinsi Bali menyumbangkan sebanyak 915,5 ribu ton sampah. Angka tersebut menjadikan provinsi Bali sebagai penghasil sampah terbesar ke-8 di Indonesia. Daerah di Bali yang menyumbangkan sampah terbanyak adalah Kota Denpasar, dengan angka 349,5 ribu ton sepanjang tahun 2021. Pembagian jenis sampah yang dihasilkan di Bali berdasarkan sumbernya yaitu sampah hasil aktivitas rumah tangga mencapai 40,58%, sampah hasil aktivitas perniagaan sebesar 18,22% dan sampah hasil pasar sebesar 17% [2].

Berdasarkan data tersebut, hasil buangan atau sampah yang dihasilkan di Indonesia tidak dalam angka yang kecil. Sehingga, sebagai masyarakat Indonesia sudah sepatutnya membantu pemerintah untuk menanggulangi sampah yang dihasilkan tersebut. Sampah yang tidak diurus dengan benar dan serius akan mengakibatkan kerusakan lingkungan hingga mengakibatkan bibit penyakit. Jenis-jenis sampah dibedakan menjadi dua berdasarkan kandungan zat kimianya, yaitu sampah

organik dan sampah anorganik [3]. Sampah organik dikelompokkan menjadi sampah organik basah dan kering. Sampah anorganik bersumber dari bahan yang dapat diperbaharui dan mengandung bahan yang berbahaya serta beracun (seperti plastik atau logam).

Sampah kering seperti halnya sampah plastik yang saat ini menjadi fokus penanggulangan agar mengurangi dampak kesehatan lingkungan dan manusia. Sampah plastik dibagi dalam beberapa jenis yaitu plastik *other*, PS, PP, LDPE, PVC, HDPE, dan PET [4]. Tingginya tingkat pencemaran lingkungan akibat sampah plastik memiliki dampak serius untuk kesehatan lingkungan maupun masyarakat. Salah satu pemasok alasan polusi lingkungan terbesar adalah sampah plastik. Adapun juga beberapa contoh dampak sampah plastik terhadap lingkungan yaitu pencemaran air, dapat terjadi disebabkan oleh dalam sampah plastik terkandung zat kimia contohnya adalah kandungan bifenil poliklorinasi dan peptisida. Zat kimia tersebut memungkinkan untuk mengkontaminasi air dan memiliki efek racun serta merusak lingkungan makhluk hidup; pencemaran tanah, dapat terjadi karena sampah plastik terdapat partikel mikroplastik berupa zat-zat kimia serta logam berat hasil dari proses terurainya plastik memungkinkan masuk ke dalam lapisan tanah kemudian menempel pada tumbuhan yang ada pada tanah tersebut; serta pencemaran udara, dapat terjadi karena sampah plastik mengandung partikel mikroplastik, logam berat seperti kadmium, timbal, bifenil poliklorinasi yang dapat terlepas kemudian mencemari udara.

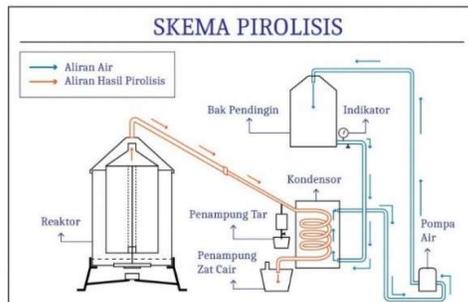
Disamping berdampak pada kesehatan lingkungan, keberadaan sampah plastik juga dapat berdampak pada kesehatan manusia. Hal tersebut disebabkan karena dalam sampah plastik terkandung berbagai senyawa kimia yang berpotensi menyebabkan berbagai masalah kesehatan [5].

Berdasarkan paparan masalah serta dampak yang ditimbulkan dari adanya sampah plastik, perlu dilakukan penanganan guna mengurangi dampak sampah plastik yang ada. Cara yang dapat dilakukan guna menurunkan dampak yang diakibatkan yaitu menggunakan peralatan makan serta minum yang berbahan dasar kaca ataupun keramik, mengurangi jumlah konsumsi botol minum plastik, menggunakan sedotan berbahan dasar *stainless steel* ataupun bahan lain yang ramah lingkungan, menggunakan tas belanja dan mengurangi penggunaan tas plastik [5]. Selain cara tersebut, adapun juga upaya yang dapat diambil guna mengurangi jumlah sampah plastik yang sudah terlanjur meningkat saat ini, yaitu dengan cara melakukan usaha daur ulang kemudian diubah menjadi bahan bakar minyak, mendaur ulang sampah plastik menjadi bahan kerajinan, mengolah kembali menjadi bijih plastik [4].

Berdasarkan pemaparan diatas mengenai beberapa upaya yang dapat dilakukan guna mengurangi sampah plastik, metode yang dapat diambil guna mengurangi atau menanggulangi jumlah sampah plastik yaitu menggunakan cara pirolisis. Metode pirolisis biasanya menghasilkan 52,2% *wax*, 25,2% *char*/residu, dan 22,6% gas, hal ini membuktikan bahwa pirolisis bisa memproses sampah plastik menjadi bahan bakar minyak [6]. Berdasarkan pemaparan tersebut, peneliti tertarik untuk meneliti dan menganalisis pengaruh variasi temperatur kerja reaktor terhadap unjuk kerja sistem pirolisis. Dari sekian banyak jenis sampah plastik yang ada, peneliti memfokuskan objek penelitian pada jenis sampah plastik PP (*Polypropylene*). Alasan utama peneliti menjadikan jenis plastik PP sebagai objek penelitian adalah masyarakat masih sering menggunakan wadah plastik, yang mana wadah plastik tergolong dalam sampah plastik PP.

2. Dasar Teori

2.1 Sistem Pirolisis



Gambar 1 Skema proses pirolisis

Pirolisis merupakan salah satu proses yang dilakukan dengan tujuan untuk mendekomposisi

suatu bahan dengan menggunakan bantuan temperatur [7]. Minyak hasil pirolisis memiliki beberapa sifat fisika, diantara yaitu viskositas, *density*, nilai kalor, *flash point* dan *fire point*. Volume minyak yang dihasilkan merupakan volume dalam mL. Volume minyak ini akan berbanding lurus dengan massa plastik yang digunakan dan temperatur yang diberikan. Yang mana semakin banyak massa plastik yang digunakan dan semakin tinggi temperatur yang digunakan, maka semakin tinggi volume minyak.

2.2 Produk Pirolisis

Hasil akhir dari pirolisis adalah fraksi gas, cair, dan residu padatan, proses pirolisis akan menghasilkan minyak yang dapat dijadikan bahan bakar [8]. Perbedaan bahan bakar yang dihasilkan tergantung pada pengaturan temperatur atau temperatur yang digunakan pada saat proses menghasilkan minyak tersebut. Semakin tinggi pengaturan temperatur pada reaktor, maka akan semakin cepat proses pirolisis akan menghasilkan bahan bakar minyak begitupun sebaliknya. Perbedaan pengaturan temperatur ini pula akan berdampak pada kondisi fisik dari minyak yang dihasilkan, yang mana warna minyak akan semakin bening apabila temperatur yang digunakan semakin tinggi, warna minyak akan semakin pekat apabila temperatur yang digunakan semakin rendah.

2.3 Plastik

Plastik adalah molekul yang proses pembuatannya melalui proses polimerisasi. Ditinjau dari sifat fisiknya, plastik dibedakan menjadi 2, yaitu *thermoplastics* dan *thermosets*. plastik dibedakan menjadi 6 golongan, yaitu *High Density Polyethylene* (HDPE), *Low Density Polyethylene* (LDPE), *Polypropylene* (PP), *Polyvinyl Chloride* (PVC), *Polystyrene* (PS), *Polyethylene Terephthalate* (PET), dan OTHER.

3. Metode Penelitian

Berikut merupakan alat-alat dan bahan utama yang diperlukan dalam penelitian.

3.1 Alat

1. Kompor, berfungsi sebagai alat penunjang dalam dilakukannya pemanasan dalam reaktor.
2. Reaktor, alat yang digunakan sebagai alat berlangsungnya suatu reaksi. Dalam hal ini, reaktor berfungsi sebagai alat berlangsungnya proses pirolisis atau peleburan plastik menjadi minyak.
3. *Pressure gauge*, difungsikan untuk monitoring tekanan pada proses pirolisis berjalan.
4. Termokopel, digunakan untuk mengukur temperatur yang dihasilkan pada saat proses pirolisis berlangsung.
5. Pompa, digunakan sebagai alat bantu pendorong air dari *cooling tower* untuk masuk ke dalam kondensator.

6. Kondensor, digunakan sebagai wadah sementara yang menampung uap dan mengubahnya menjadi cairan minyak.
7. *Flow meter*, digunakan sebagai alat untuk mengukur debit keluarnya air dari pompa menuju kondensor.
8. *Cooling tower*, digunakan sebagai alat untuk menurunkan suhu air yang dihasilkan akibat dari pertukaran panas dalam kondensor.
9. Gelas ukur, digunakan sebagai alat mengukur minyak yang dihasilkan.

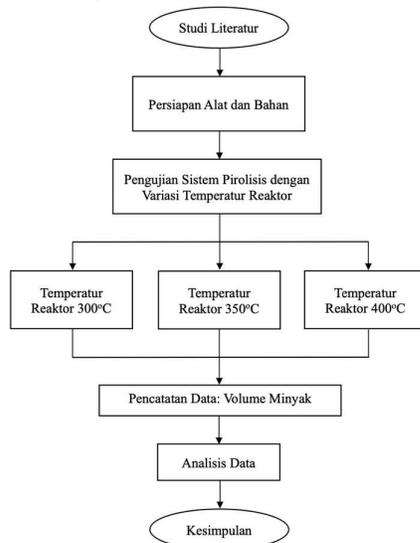
3.2 Bahan

Bahan utama dalam penelitian adalah plastik berjenis PP, yang mana plastik yang digunakan adalah plastik bening. Bahan utama yang digunakan adalah sebanyak 1 kg setiap perlakuan temperatur. Bahan tersebut merupakan bahan yang sudah di bersihkan, kering, dan sudah di cacah.

3.3 Metode pengambilan data

1. Studi Literatur, dilakukan dengan mencari sumber jurnal terpercaya dari peneliti sebelumnya untuk mendapatkan beberapa informasi valid.
2. Pengujian/eksperimen, dilakukan dengan memvariasikan temperatur yang digunakan dalam proses pirolisis untuk mendapatkan data pengaruh variasi temperatur dalam proses pirolisis.
3. Analisis Data, setelah didapatkan data hasil eksperimen, maka akan dilanjutkan dengan menganalisis data tersebut untuk mengetahui pengaruh signifikan variasi temperatur terhadap proses pirolisis.

3.4 Diagram alir penelitian



Gambar 2 Diagram alir penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

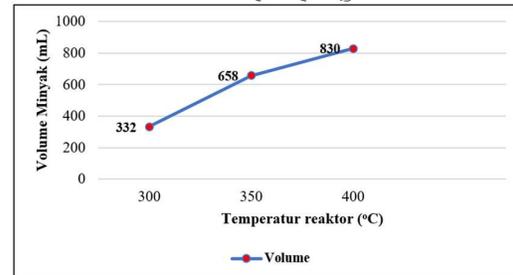
4.1 Volume minyak yang dihasilkan

Volume minyak yang dihasilkan bergantung pada jumlah atau berat bahan yang digunakan, temperatur yang diatur dan keadaan alat. Dalam penelitian ini, digunakan 3 tingkatan temperatur, yaitu 300°C, 350°C, dan 400°C. Ketiga perlakuan temperatur tersebut tetap dengan menggunakan massa bahan yang sama yakni 1kg plastik yang telah di bersihkan dan dicacah. Volume minyak yang dihasilkan pada penelitian ini yaitu semakin tinggi perlakuan temperatur yang diberikan maka semakin banyak menghasilkan volume minyak.

Tabel 1 Data volume minyak yang dihasilkan

Temperatur reaktor	Volume Minyak
300°C	332 mL
350°C	658 mL
400°C	830 mL

4.2 Grafik volume minyak yang dihasilkan



Gambar 3 Grafik hubungan temperatur terhadap volume minyak

5. Kesimpulan

Volume minyak yang dihasilkan meningkat seiring peningkatan temperatur dari setiap perlakuan yang diberikan saat penelitian. Yang mana temperatur 300°C menghasilkan 332 mL minyak, temperatur 350°C menghasilkan 658 mL minyak, dan temperatur 400°C menghasilkan 830 mL minyak.

6. Daftar Pustaka

- [1] KLHK, 2022, *Ditjen PSLB3 KLHK Didesak Miliki Langkah Terukur Tangani Volume Sampah*, Dewan Perwakilan Rakyat Indonesia, pada laman: <https://www.dpr.go.id/>, diakses pada tanggal 20 Maret 2023.
- [2] Dihni V. A., 2022, *Ini Wilayah Penghasil Sampah Terbanyak di Bali*, pada laman: Databoks.com., diakses pada tanggal 21 Maret 2023.
- [3] Aulia D. C., Situmorang H. K., Prasetya A. F., Fadilla A., Nisa A. S., Khoirunnisa A., Farhan D., Nindya D. N., Purwantari H., Jasmin I. O. D., Akbar J. A., Novi Ginting M. C. B. R., Lubis R. F., & G. Z. P., 2021, *Peningkatan Pengetahuan dan Kesadaran Masyarakat tentang Pengelolaan Sampah dengan Pesan Jepang*, Jurnal Pengabdian Kesehatan Masyarakat (Pangmaskesmas), vol. 1, no. 1, pp. 62-70.

- [4] Widiatmoko H., Purwaningrum P., & P. F. P., 2015, *Analisis Karakteristik Sampah Plastik di Pemukiman Kecamatan Tebet dan Alternatif Pengolahannya*, Jurusan Teknik Lingkungan, vol. 7, no. 1, pp. 24-33.
- [5] Wahhab, 2021, *Dampak Sampah Plastik bagi Lingkungan dan Kesehatan Manusia*, Bantul: BPKBPMD Bantul.
- [6] Rachmawati Q. & Herumurti W., 2015, *Pengolahan Sampah secara Pirolisis dengan Variasi Rasio Komposisi Sampah dan Jenis Plastik*, Jurnal Teknik ITS, vol. 4, no. 1., pp. 27-29.
- [7] Riandis J. A., Setyawati A. R., & Sanjaya A. S., 2021, *Pengolahan Sampah Plastik Dengan Metode Pirolisis Menjadi Bahan Bakar Minyak*, Jurnal Chemurgy, vol. 05, no. 1, pp. 8-14.
- [8] Syamsiro M., 2015, *Kajian Pengaruh Penggunaan Katalis Terhadap Kualitas Produk Minyak Hasil Pirolisis Sampah Plastik*, Jurnal Teknik, vol. 5, no. 1, pp. 47-56.

	<p>Izhar Adji Arta sedang menempuh Pendidikan di Universitas Udayana pada program sarjana Teknik Mesin sejak tahun 2019. Fokus penelitian dalam bidang konversi energi dengan topik pirolisis sampah plastik sebagai tugas akhir untuk menempuh gelar Sarjana (S1).</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati adalah topik topik yang berkaitan dengan mesin konversi energi dan manajemen energi</p>	