

ISSN 2302 – 5182



TEKNIK MESIN  
**UDAYANA**



# TEKNIK DESAIN MEKANIKA

Jurnal Ilmiah Teknik Mesin

Volume 13 • Nomor 4 • OKTOBER • 2024 • Hal. 301 - 413

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 4

Hal. 301-413

Badung, Oktober 2024

ISSN 2302-5182

**TEKNIK DESAIN  
MEKANIKA**  
**Jurnal Ilmiah Teknik Mesin**



**Volume 13, Nomor 4, Oktober 2024, Hal. 301 – 413**

**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](mailto:jitm_tdm@me.unud.ac.id); [t\\_desain\\_mekanika@yahoo.co.id](mailto:t_desain_mekanika@yahoo.co.id)

Info JITM-TDM: [www.mesin.unud.ac.id](http://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 4, Oktober 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 4 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 4 • Oktober 2024 • Hal. 301 – 413

### Daftar Isi

<b>Perbedaan Karakteristik <i>Spray</i> Bahan Bakar Minyak Jelantah Dan Biodiesel Menggunakan <i>Air-Assisted Nozzle</i> Dan Cerobong Pemanasan Awal</b> Fachrian Rizky Maulana, Ainul Ghurri, I Made Parwata	301 - 305
<b>Pengaruh Internal Mixed Air-Assisted Nozzle Terhadap Atomisasi Minyak Jelantah Dengan Cerobong Pemanas</b> Alexander Farell R.B, Ainul Ghurri, I Made Parwata	306 - 309
<b>Pengaruh Variasi Fraksi Volume Biokomposit, Serat Daun Nanas dan Resin Epoxy-Polyester Terhadap Kekuatan Bending dan Daya Serap Air</b> Muhammad Veros Diega, Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati, dan Dewa Ngakan Ketut Putra Negara	310 - 315
<b>Pengaruh Fraksi Massa Serat Pada Greencomposite Serat Daun Nanas dan Sari Pati Kentang Terhadap Kemampuan Peredaman Suara dan Porositas</b> Jagjiwen, Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati, dan Ketut Astawa	316 - 321
<b>Pengaruh Variasi Fraksi Volume Biokomposit Serat Daun Nanas dan Resin Epoxy-polyester Terhadap Kekuatan Tarik dan Densitas</b> Schubert Ariell P.S. Siburian, Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati, dan Dewa Ngakan Ketut Putra Negara	322 - 327
<b>Analisa Modifikasi Model Body Kendaraan Obhi-mec Unud Terhadap Koefisien Drag Menggunakan Ansys Fluent</b> Endy Josua Simanjuntak, I Made Gatot Karohika, I Made Widiyarta	328 - 332
<b>Karakteristik Kekerasan Coran Material Al-7Si Akibat Variasi Temperatur Tuang Dan Tebal Saluran Pada Pengecoran Sand Casting</b> Putu Andika Pramana Putra, I Ketut Gede Sugita, dan Ni Made Dwidiani	333 - 337
<b>Pengaruh Moisture Content pada Insinerator Municipal Solid Waste</b> Gede Suba Ratya Putra, I Nyoman Suprpta Winaya, I Wayan Arya Darma	338 - 343
<b>Simulasi Pengaruh Kecepatan Udara Fluidisasi Terhadap Volume Fraction Pada Gasifikasi Dual Reaktor Fluidized Bed Menggunakan Software Cpfid Barracuda Virtual Reaktor</b> Muhammad Yusuf Wibisono, I Nyoman Suprpta Winaya, I Gede Putu Agus Suryawan	344 - 348
<b>Pengaruh Variasi Waktu Penahanan pada Proses Artificial Aging Terhadap Kekerasan Al-7Si</b> Putu Hendri Yudarsana, I Ketut Gede Sugita, Ni Made Dwidiani	349 - 352
<b>Karakteristik Laju Korosi Pada Paduan High Tin Bronze Akibat Variasi Penambahan Timah Putih</b> I Gede Sanjaya, I Ketut Gede Sugita, DNK Putra Negara	353 - 360

<b>Pengaruh Variasi Rasio Transmisi Terhadap Konsumsi Energi Sepeda Motor Listrik Konversi pada Kondisi Jalan Mendatar</b> I Ketut Agus Milan Wartama, I Made Widiyarta, I Wayan Arya Darma	<b>361 - 366</b>
<b>Pengaruh Variasi Massa Serat Pada Green Composite Serat Daun Nanas dan Sari Pati Kentang Terhadap Kekuatan Tarik dan Densitas</b> Komang Dicky Ari Prayudha, Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati, dan Ketut Astawa	<b>367 - 371</b>
<b>Analisis Pengaruh Penggunaan Heatsink Terhadap Pendinginan Sistem Maisotsenko Cycle-Indirect Evaporative Cooling Dengan Variasi Aliran Udara Menggunakan Komputasi Dinamika Fluida</b> Anditya Putra Wyszawan, Hendra Wijaksana, dan Ainul Ghurri	<b>372 - 379</b>
<b>Sintesis Katalis Platina-Titanium Dioksida Didukung Vulcan XC-72 dan Karakterisasinya Menggunakan Pengujian Cyclic Voltammetry</b> Amelia Situmorang, Made Joni, Made Suarda, Ketut Astawa, Made Sucipta	<b>380 - 383</b>
<b>Pengaruh Variasi Temperatur Kerja Reaktor Terhadap Unjuk Kerja Sistem Pirolisis Sampah Plastik Low Density Polyethylene (LDPE)</b> Jaeng Sasongko, I Nengah Suarnadwipa, Made Ricki Murti	<b>384 - 389</b>
<b>Optimasi Topologi Pada Chassis Kendaraan Bio-Hybrid (Obhi-Mec Unud) Dengan Menggunakan Ansys Workbench</b> William Halim Darmawan, I Made Gatot Karohika, I Made Widiyarta	<b>390 - 395</b>
<b>Uji Karakteristik Bahan Bakar Hasil Pirolisis Sampah Plastik Berjenis Low Density Polyethylene (LDPE) dengan Memvariasikan Laju Volume Air Pendingin pada Kondensor</b> Rafly Nanda Prasetya, I Nengah Suarnadwipa, Made Ricki Murti	<b>396 - 401</b>
<b>Pengaruh Variasi Laju Volume Air Pendingin Di Kondensor Terhadap Performansi Proses Pirolisis Plastik Low Density Polyethylene (LDPE)</b> Fahmi Mahardika, I Nengah Suarnadwipa, Made Ricki Murti	<b>402 - 406</b>
<b>Analisis Tegangan Dan Regangan Akibat Variasi Nilai Koefisien Gesek Pada Interaksi Kontak Ring Piston Dengan Cylinder Liner Menggunakan Metode Elemen Hingga</b> Zerry Hansnico Christian Mausi Nababan, I Made Gatot Karohika, I Made Widiyarta	<b>407 - 413</b>

# Perbedaan Karakteristik *Spray* Bahan Bakar Minyak Jelantah Dan Biodiesel Menggunakan *Air-Assisted Nozzle* Dan Cerobong Pemanasan Awal

Fachrian Rizky Maulana, Ainul Ghurri, I Made Parwata

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

*Air-Assisted Atomizer* memiliki keunggulan yaitu dalam proses atomisasi bahan bakar dicapai dengan bantuan udara sehingga akan menghasilkan karakteristik *spray* yang baik. Karakteristik *spray* yang dimaksud yaitu jangkauan *spray* dan sudut *spray*. Penggunaan cerobong pemanasan awal sebagai perlakuan *preheating* pada bahan bakar dapat membantu penguapan pada *fuel spray* sehingga akan meningkatkan atomisasi yang dihasilkan. Pada penelitian kali ini menggunakan metode eksperimen dengan diameter *nozzle* 2,5 mm dan menggunakan cerobong pemanasan awal. Bahan bakar yang digunakan yaitu minyak jelantah dan biodiesel. Hasil penelitian ini menunjukkan adanya perbedaan karakteristik *spray* antara minyak jelantah dan biodiesel. Minyak jelantah menghasilkan jangkauan *spray* yang lebih panjang daripada biodiesel. Untuk sudut *spray* yang dihasilkan, minyak jelantah memiliki sudut yang sedikit lebih lebar daripada biodiesel yaitu hanya terpaut 0,06°.

**Kata Kunci:** Pemanasan Awal, *Nozzle*, *Air-Assisted Atomizer*, Karakteristik *Spray*

## Abstract

*Air-assisted Atomizer* has an advantage in the fuel atomization process that is achieved with the help of air, and that will make good characteristics of *spray*. The *spray* characteristics are *spray* range and *spray* angle. The using of *preheating* funnel and *preheating* treatment on fuel can help the vaporization of the fuel *spray*, which will increase the result of the atomization. In this research, the *nozzle* diameter experimental method that will be used is 2,5 mm, with using *preheating* funnel. The fuel that will be used are waste cooking oil and biodiesel. The results of this research showed a difference in *spray* characteristics between waste cooking oil and biodiesel. Waste cooking oil produces a longer *spray* range than biodiesel. For the result of *spray* angle, waste cooking oil has a slightly wider angle than biodiesel, which is only 0.06°.

**Keywords:** *Preheating*, *Nozzle*, *Air-Assisted Atomizer*, *Spray* Characteristics

## 1. Pendahuluan

Perkembangan sektor industri dan transportasi yang semakin pesat menyebabkan kebutuhan akan energi meningkat pula. Secara global, ketersediaan energi menjadi sebuah isu penting yang perlu dipecahkan. Ketersediaan energi saat ini masih didominasi oleh energi fosil yang tidak terbarukan, salah satu contohnya adalah minyak bumi. Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengganti peran minyak bumi sebagai sumber energi, salah satunya adalah penggunaan bahan bakar alternatif seperti minyak jelantah. Minyak jelantah dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar karena termasuk dalam *bio fuel*. Minyak jelantah dapat dimanfaatkan secara langsung sebagai bahan bakar pada *burner* pembakaran dengan menggunakan metode *fuel spray* (penyemprotan bahan bakar cair).

Semprotan bahan bakar (*fuel spray*) dihasilkan dengan bantuan alat yang bernama *nozzle*. *Nozzle* adalah alat yang berfungsi untuk memecah cairan fluida menjadi butiran partikel halus yang menyerupai kabut [1]. Proses pecahnya cairan fluida menjadi butiran partikel halus diawali dengan adanya pencampuran antara bahan bakar cair dengan udara di dalam *nozzle* yang nantinya akan disemprotkan melewati lubang keluaran *nozzle* dan membentuk

partikel halus. Kumpulan dari partikel halus tersebut akan membentuk sebuah semprotan (*spray*) dengan karakteristik tertentu. Untuk menghasilkan karakteristik *spray* yang bagus, salah satu yang paling berpengaruh adalah diameter lubang dari sebuah *nozzle* [2]. Karakteristik *spray* yang dimaksud yaitu sudut *spray* dan jangkauan *spray*.

*Air-assisted atomizer* (*Air-assisted nozzle*) dapat dijadikan opsi alternatif sebagai alat penyemprot cairan dari *single liquid spray* yang membutuhkan tekanan tinggi [3]. *Air-assisted atomizer* (*air-assisted nozzle*) menggunakan atomisasi dengan bantuan udara, di mana prinsipnya adalah geser dan pecah, yaitu atomisasi cairan dicapai melalui tumbukan timbal balik dan gesekan antara udara dan cairan [4]. Penelitian tentang karakteristik *spray* menggunakan *air-assisted atomizer* pernah dilakukan oleh [5] disimpulkan bahwa rasio L/Do (panjang *nozzle* per diameter *nozzle*) memiliki pengaruh terhadap sudut *spray*, semakin kecil nilai rasio L/Do, maka semakin besar sudut *spray* yang dihasilkan.

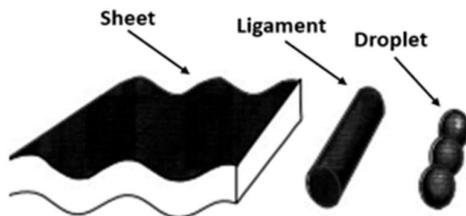
Perlakuan *preheating* pada bahan bakar diprediksi dapat menghasilkan *droplet* yang lebih halus. [6] telah menguji desain *burner* sebagai perlakuan *preheating* pada bahan bakar berviskositas tinggi menggunakan *air-assisted atomizer*, di mana ditemukan bahwa *fuel spray* dapat dihasilkan dengan

karakteristik yang cukup baik. Dari literatur tersebut muncul ide untuk mendesain pemanas *fuel spray* dalam bentuk cerobong pemanas. Cerobong pemanas *fuel spray* ini akan bekerja pada ujung *nozzle* untuk memanaskan bahan bakar di awal *spray*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan karakteristik *spray* antara minyak jelantah dan biodiesel menggunakan *nozzle air-assisted atomizer*. Cerobong pemanasan awal yang diusulkan dalam penelitian ini berfungsi sebagai lintasan *fuel spray*. Penelitian ini juga menggunakan diameter *nozzle* 2,5 mm.

## 2. Dasar Teori

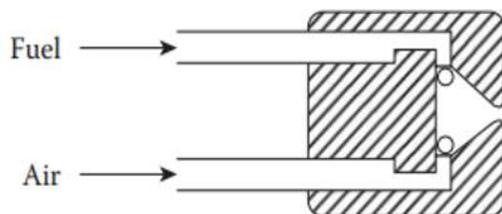
Atomisasi merupakan proses disintegrasi cairan dalam jumlah banyak menjadi tetesan kecil. Proses atomisasi dapat dilihat pada Gambar 1, prosesnya dimulai dari keluarnya cairan dari ujung *nozzle* dalam bentuk lembaran (*sheet*), kemudian membentuk ikatan (*ligament*), dan akhirnya terdisintegrasi menjadi butiran (*droplet*) [7].



Gambar 1. Proses Atomisasi

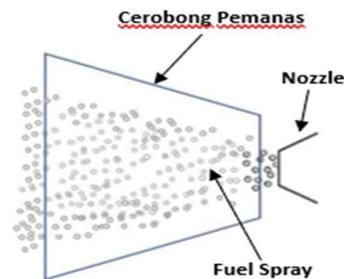
Kumpulan *droplet* yang terbentuk dari hasil atomisasi akan membentuk semburan (*spray*) dengan karakteristik tertentu. Adapun karakteristik yang dimaksud yaitu sudut *spray* dan jangkauan *spray*. Salah satu yang mempengaruhi karakteristik *spray* ini adalah diameter *nozzle* dan bahan bakar yang digunakan.

*Nozzle (atomizer)* merupakan alat yang digunakan untuk menghasilkan *spray*. *Air-assisted nozzle* merupakan jenis *nozzle* dengan berbantuan udara, di mana cairan dikenakan aliran udara atau gas yang mengalir dengan kecepatan tinggi untuk terjadinya atomisasi. Udara dan cairan akan dicampur terlebih dahulu di dalam *nozzle* sebelum dikeluarkan melalui lubang keluar, seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Konfigurasi Pencampuran Udara Dan Cairan Pada *Air-assisted Nozzle*

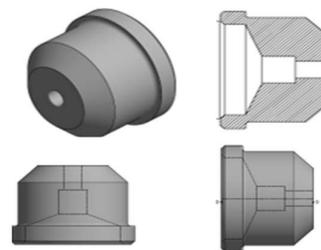
Cerobong pemanas yang diusulkan pada penelitian ini berfungsi sebagai lintasan *fuel spray*. Cerobong diberi perlakuan pemanasan, sehingga saat *fuel spray* melintas akan menerima energi panas dari cerobong tersebut. Dengan pemanasan tersebut, diharapkan dapat mempercepat penguapan pada *droplet* bahan bakar yang keluar dari ujung *nozzle* dan menghasilkan karakteristik *spray* yang baik. Cara kerja cerobong pemanas dapat dilihat pada Gambar 3.



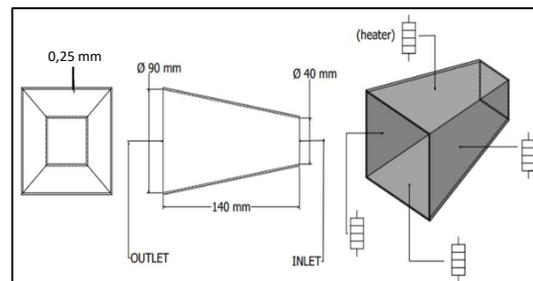
Gambar 3. Cara Kerja Cerobong Pemanas

## 3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dengan diameter *nozzle* 2,5 mm menggunakan bahan bakar minyak jelantah dan biodiesel. Penelitian ini juga menggunakan cerobong pemanas dengan model *diffuser* berbentuk limas segi empat dengan dimensi: inlet 40 mm, outlet 90 mm, panjang 140 mm, dan tebal 0,25 mm. Gambar diameter *nozzle* dan bentuk cerobong pemanas dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.



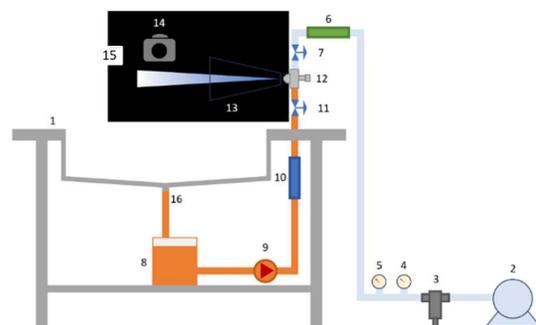
Gambar 4. Diameter *Nozzle* 2,5 mm



Gambar 5. Bentuk Dan Dimensi Cerobong Pemanas

Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk mendapat data karakteristik *spray*. Karakteristik *spray* yang dimaksud adalah sudut *spray* dan jangkauan *spray*. Adapun skematik penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut

Prosedur penelitian mengikuti skema yang ditunjukkan pada Gambar 6. Pengujian dimulai dengan menghidupkan kompresor untuk menyuplai udara ke *nozzle*. Bahan bakar dialirkan dari tangki bahan bakar dengan bantuan pompa sebelum memasuki *nozzle*. Di dalam *nozzle* terjadi interaksi antara udara dengan bahan bakar sehingga terbentuknya *spray*. *Fuel spray* yang dihasilkan akan melewati cerobong pemanas. Selanjutnya, akan dilakukan pengambilan gambar dan video hasil *spray* menggunakan kamera digital sebagai data untuk dilakukannya analisis. Agar video hasil *spray* yang diperoleh jelas, *background* hitam dipasang di samping meja penelitian. Hasil *spray* bahan bakar kemudian akan jatuh pada wastafel, kemudian bahan bakar akan ditampung kembali pada tangki bahan bakar melalui selang yang menghubungkan lubang wastafel dengan tangki bahan bakar.



- Keterangan:
- |                             |                                |
|-----------------------------|--------------------------------|
| 1. Meja penelitian          | 9. Pompa                       |
| 2. Kompresor                | 10. <i>Flowmeter liquid</i>    |
| 3. Filter air kompresor     | 11. Katup pengatur bahan bakar |
| 4. <i>Pressure gauge</i>    | 12. <i>Nozzle</i>              |
| 5. <i>Temperature gauge</i> | 13. Cerobong pemanas           |
| 6. <i>Flowmeter gas</i>     | 14. Kamera digital             |
| 7. Katup pengatur udara     | 15. <i>Background hitam</i>    |
| 8. Tangki bahan bakar       | 16. Selang penghubung          |

Gambar 6. Skematik Penelitian Analisa Karakteristik *spray*

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Meja penelitian
2. *Nozzle* tipe *air-assisted*
3. Kompresor
4. Filter air kompresor
5. Pompa bahan bakar
6. Tangki penampung bahan bakar
7. Cerobong pemanas
8. *Pressure gauge*
9. *Temperature gauge*
10. *Flowmeter gas*
11. *Flowmeter liquid*
12. *Thermocouple set*

13. Kamera digital
14. Selang
15. *Background* hitam
16. Minyak jelantah

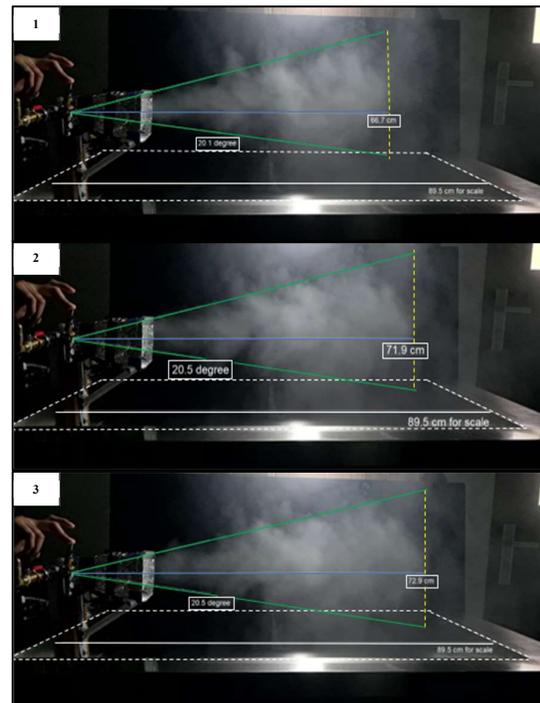
#### 4. Hasil dan Pembahasan

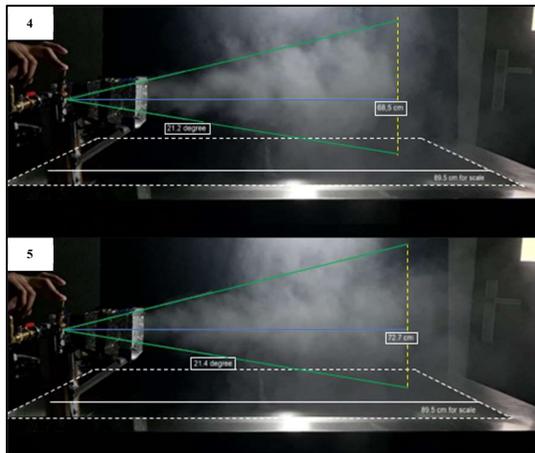
##### 4.1. Metode Analisa Karakteristik *Spray*

Pengukuran jangkauan *spray* akan diukur dari ujung *nozzle* hingga *spray* yang terbentuk mulai memudar. Pada sudut *spray* akan diambil dari sudut terbesar *spray* yang ditarik sepanjang garis jangkauan *spray*. Pengolahan gambar hasil *spray* akan digunakan beberapa garis yang berbeda warna sebagai penanda. Garis putus-putus berwarna putih merupakan garis yang menggambarkan wastafel meja yang berbentuk persegi panjang. Garis solid berwarna putih merupakan garis skala gambar yang menunjukkan panjang wastafel yaitu 89,5 cm. Garis solid berwarna biru merupakan garis jangkauan *spray*. Garis solid berwarna hijau merupakan garis sudut *spray*, di mana *spray* yang berada di luar garis hijau dianggap sudah menguap. Garis putus-putus berwarna kuning merupakan garis pembatas jangkauan *spray* dan sudut *spray*, di mana *spray* yang berada di sisi kanan garis kuning dianggap sudah menguap.

##### 4.2. Pengujian Karakteristik *Spray* Bahan Bakar Minyak Jelantah

Lima gambar diambil sebagai perwakilan untuk mencari rata-rata dan standar deviasi dari jangkauan *spray* dan sudut *spray*. Gambar 7 menunjukkan kumpulan hasil *spray* menggunakan bahan bakar minyak jelantah yang telah diolah menggunakan *software ImageJ*.





Gambar 7. Hasil *Spray* Bahan Bakar Minyak Jelantah

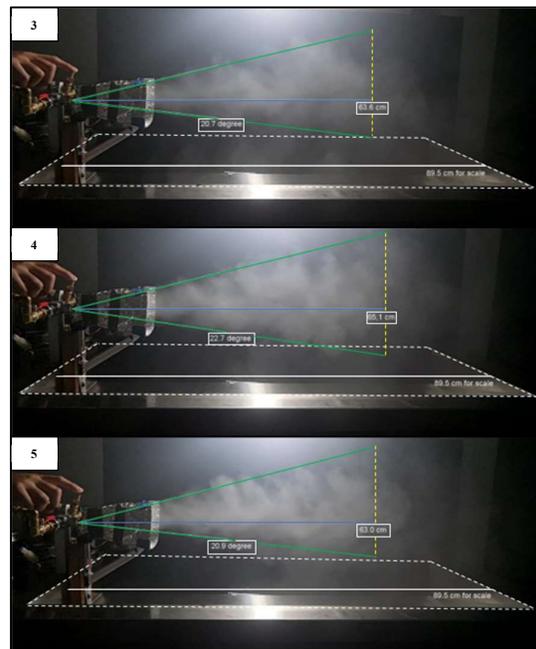
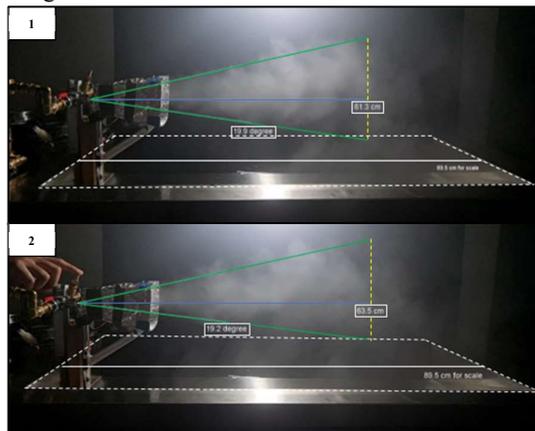
Data dari pengujian karakteristik *spray* dengan nozzle 2,5 mm menggunakan minyak jelantah dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Data Karakteristik *Spray* Bahan Bakar Minyak Jelantah

No	Jangkauan <i>Spray</i> (cm)	Sudut <i>Spray</i> (°)
1	66,7	20,1
2	71,9	20,5
3	72,9	20,5
4	68,5	21,2
5	72,7	21,4
Mean ( $\bar{x}$ )	70,54	20,74
Standar Deviasi ( $\sigma$ )	2,783	0,541

#### 4.2. Pengujian Karakteristik *Spray* Bahan Bakar Biodiesel

Lima gambar diambil sebagai perwakilan untuk mencari rata-rata dan standar deviasi dari jangkauan *spray* dan sudut *spray*. Gambar 8 menunjukkan kumpulan hasil *spray* menggunakan bahan bakar biodiesel yang telah diolah menggunakan *software* ImageJ.



Gambar 8. Hasil *Spray* Bahan Bakar Biodiesel

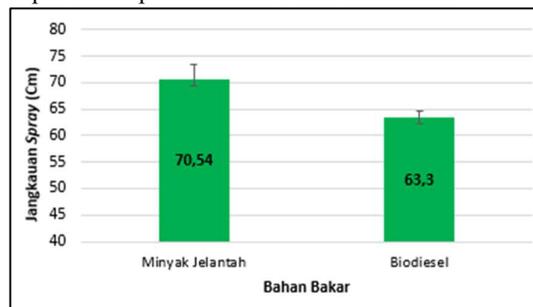
Data dari pengujian karakteristik *spray* dengan nozzle 2,5 mm menggunakan biodiesel dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Data Karakteristik *Spray* Bahan Bakar Biodiesel

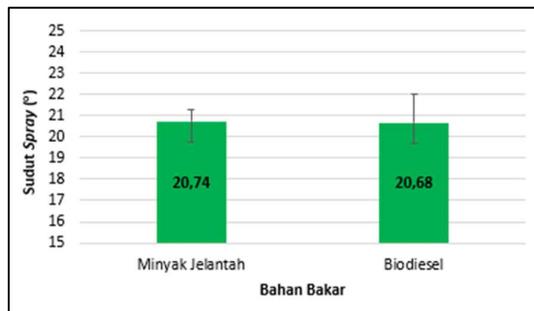
No	Jangkauan <i>Spray</i> (cm)	Sudut <i>Spray</i> (o)
1	61,3	19,9
2	63,5	19,2
3	63,6	20,7
4	65,1	22,7
5	63,0	20,9
Mean ( $\bar{x}$ )	63,3	20,68
Standar Deviasi ( $\sigma$ )	1,365	1,316

#### 4.3. Data Keseluruhan Karakteristik *Spray*

Grafik perbandingan data pengujian karakteristik *spray* menggunakan minyak jelantah dan biodiesel dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 9. Grafik Data Keseluruhan Pengujian Jangkauan *Spray*



Gambar 10. Grafik Data Keseluruhan Pengujian Sudut *Spray*

Dari dua grafik di atas dapat dilihat bahwa minyak jelantah memiliki jangkauan *spray* yang lebih panjang daripada biodiesel. Hal ini disebabkan karena minyak jelantah memiliki viskositas yang lebih tinggi daripada biodiesel. Hal tersebut berpengaruh terhadap proses atomisasi, di mana semakin tinggi viskositas maka semakin sulit proses atomisasinya. Sehingga saat minyak jelantah disemprotkan dari *nozzle*, atomisasinya berjalan lebih lambat daripada biodiesel, sehingga jangkauan *spray* nya lebih panjang. Pada pengujian sudut *spray* minyak jelantah menghasilkan sudut *spray*  $0,06^\circ$  lebih lebar daripada biodiesel.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dalam mencari perbedaan karakteristik *spray* minyak jelantah dan biodiesel menggunakan diameter *air-assisted nozzle* 2,5 mm, dapat disimpulkan bahwa minyak jelantah menghasilkan jangkauan *spray* yang lebih panjang daripada biodiesel. Untuk sudut *spray*, minyak jelantah menghasilkan sudut *spray*  $0,06^\circ$  lebih lebar daripada biodiesel. Biodiesel memiliki karakteristik *spray* yang lebih bagus daripada minyak jelantah. Hal ini disebabkan karena proses atomisasi biodiesel berjalan lebih cepat sehingga jangkauan *spray* yang dihasilkan lebih pendek

## Daftar Pustaka

- [1] Firmansyah, M., Qiram, I., & Rubiono, G, (2021), *Pengaruh Variasi Kekasaran Lubang Nozzle Dengan Campuran Bahan Bakar Pertalite dan Spiritus Terhadap Karakteristik Nyala Api*, Jurnal V-Mac, 6(2), 57–61.
- [2] Azis, M. L., Hakim, L., & Ilminafik, N, (2020), *Karakteristik Spray Bahan Bakar Campuran Minyak Diesel Dan Biodiesel Callophyllum Inophyllum*, Jurnal Rotor, 13(1), 27–30.
- [3] Watanawanyoo, P., Mochida, H., Furukawa, T., Nakamura, M., & Hirahara, H, (2012), *Experimental Study on the Spray Characteristics of an Air Assisted Atomizer*

*with Internal Mixing Chamber*, European Journal of Scientific Research, 84(4), 507–521.

- [4] Wang, P., Shi, Y., Zhang, L., & Li, Y, (2019), *Effect of structural parameters on atomization characteristics and dust reduction performance of internal-mixing air-assisted atomizer nozzle*, Process Safety and Environmental Protection, 128, 316–328.
- [5] Gad, H. M., Baraya, E. A., Farag, T. M., & Ibrahim, I. A, (2022), *Effect of geometric parameters on spray characteristics of air assisted pressure swirl atomizer*, Alexandria Engineering Journal, 61(7), 5557–5571.
- [6] Ghurri, A., Parwata, I. M., & Karohika, I. M, (2022), *Karakteristik Semprotan Bahan Bakar Berdensitas Tinggi pada Air-Assisted Atomizer*. Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin.
- [7] Le Moyne, (2010), *Trends in Atomization Theory*, International Journal of Spray and Combustion Dynamics, 2(1), 49–83.



**Fachrian Rizky Maulana** menyelesaikan program sarjana di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana pada tahun 2024.

Judul tugas akhir Perbedaan Karakteristik *Spray* Bahan Bakar Minyak Jelantah Dan Biodiesel Menggunakan *Air-Assisted Nozzle* Dan Cerobong Pemanasan Awal



Ainul Ghurri, Ph.D. menyelesaikan studi S1 di Universitas Brawijaya dan S2 di Universitas Indonesia. Pendidikan S3 ditempuh di Chonbuk National University Korea Selatan dan selesai pada tahun 2012. Bidang pendidikan dan riset yang didalami meliputi, pembakaran, mesin pembakaran dalam, *atomization & spray*, mekanika fluida dan komputasi dinamika fluida (CFD)



Dr. I Made Parwata, ST., MT., menyelesaikan pendidikan S1 dan S2 di ITS. Pendidikan S3 diselesaikan di ITB pada tahun 2012. Bidang riset yang ditekuni adalah bidang tribologi meliputi mekanika kontak, keausan, gesekan, *lubrication* dan *atomization spray*.

# PENGARUH *INTERNAL MIXED AIR-ASSISTED NOZZLE* TERHADAP ATOMISASI MINYAK JELANTAH DENGAN CEROBONG PEMANAS

Alexander Farell R.B, Ainul Ghurri, I Made Parwata

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

*Air-assisted nozzle beroperasi pada laju aliran rendah dengan pasokan udara tetap dalam tekanan yang bercampur dengan bahan bakar untuk menghasilkan spray dengan. Cerobong pemanas ditambahkan di depan nozzle untuk memberi perlakuan preheating pada spray yang keluar sehingga atomisasi yang dihasilkan lebih optimal. Pada penelitian ini, pengujian menggunakan internal mixed air-assisted nozzle untuk mengetahui perbedaan tingkat atomisasi pada kedua bahan bakar, yaitu minyak jelantah dan biodiesel. Hasil penelitian menunjukkan perbedaan tingkat atomisasi pada pengujian internal mixed air-assisted nozzle, yaitu kenaikan sebesar 2% ketika menguji biodiesel dibandingkan minyak jelantah.*

*Kata kunci: Pemanasan awal, Air-assisted atomizer, Nosel, Karakteristik spray, Atomisasi*

## Abstract

*Air-assisted nozzle operates on low flow rate with a constant pressured air supply mixed with fuels to produce a spray with certain characteristics, namely fuel atomization, spray length, and its angle. A heating funnel is added in front of the nozzle to give a preheating treatment to the spray that shoot through the funnel in result of a more optimized atomization. In this research, the experiment used an internal mixed air-assisted nozzle to discover the difference of atomization rate of both fuels, which are biodiesel and waste cooking oil. The result showed the difference of atomization rate on internal mixed air-assisted nozzle test, which is an increase of 2% while using biodiesel in compared to waste cooking oil.*

*Keywords: Preheat treatment, Air-assisted atomizer, Nozzle, Spray characteristic, Atomization*

## 1. Pendahuluan

Zaman globalisasi saat ini menyaksikan pesatnya perkembangan teknologi setiap tahunnya. Pertumbuhan jumlah penduduk dan revolusi industri menuntut manusia untuk mengelola Sumber Daya Alam (SDA) yang tersedia. Namun, pasokan SDA, terutama bahan bakar fosil, terus menurun seiring dengan meningkatnya konsumsi manusia. Kekhawatiran ini memicu pencarian sumber energi alternatif yang bersih dan ramah lingkungan.

Salah satu solusi alternatif dalam mengatasi masalah ini adalah penggunaan biofuel, dengan biodiesel sebagai salah satu jenisnya, atau minyak jelantah yang dihasilkan dari penggunaan minyak kelapa sawit yang sudah tidak terpakai [1]. Namun, isu utama *biofuel* adalah sulitnya pembakaran karena tingginya viskositas bahan bakar tersebut dibandingkan bahan bakar komersil lainnya sehingga dibutuhkan atomizer yang cocok dan desain burner yang sesuai untuk mencapai efisiensi pembakaran yang ideal.

Pada penelitian ini, *internal mixed air-assisted nozzle* digunakan untuk mencari perbedaan tingkat atomisasi antara kedua bahan bakar, yaitu biodiesel dan minyak jelantah. Batasan penelitian ditetapkan

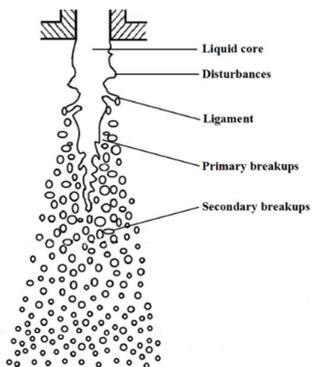
untuk membatasi lingkup dalam penelitian ini yang meliputi:

1. Bahan bakar minyak jelantah yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dengan *random sampling*.
2. Properti dari minyak jelantah mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Maneerung (2016) [2].
3. *Air Fuel Ratio* (AFR) dihitung berdasarkan pengukuran *flowmeter* udara dan bahan bakar sebelum masuk ke *nozzle*.

## 2. Dasar Teori

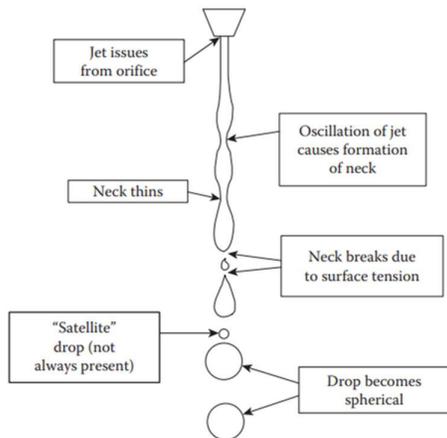
### 2.1. Atomisasi

Atomisasi adalah proses di mana cairan terpecah menjadi tetesan-tetesan kecil karena gaya internal dan eksternal yang mempengaruhi tegangan permukaan. Proses ini dimulai dengan cairan yang keluar dari *nozzle* dalam bentuk lembaran (*sheet*), lalu terpecah menjadi ikatan (*ligament*), dan akhirnya menjadi butiran (*droplet*) [3].



**Gambar 1. Proses Atomisasi**

Namun, *droplet* yang dihasilkan dalam proses awal disintegrasi tidak stabil dan mengalami disrupsi lebih lanjut menjadi *droplet* yang lebih kecil. Proses pemecahan ini dipengaruhi oleh geometri internal atomizer dan sifat fisik cairan itu sendiri. Cairan dalam jumlah besar diubah menjadi lembaran cair sebelum proses atomisasi di banyak *nozzle* semprotan. Lembaran cair yang keluar dari *nozzle* dapat mengalami osilasi tertentu, yang mengakibatkan pembentukan ligamen cair. Ligamen kemudian dipisahkan menjadi tetesan-tetesan kecil, membentuk semprotan. Ukuran *droplet* cairan berbanding searah dengan ketebalan lembaran, sehingga semakin tipis lembaran yang dikeluarkan, semakin kecil ukuran tetesan cairannya. Jet cairan dapat memecah menjadi *droplet-droplet* kecil ketika terkena gangguan internal maupun eksternal, seperti fluktuasi tekanan, kecepatan, atau properti cairan. Osilasi *droplet* dapat terjadi ketika *droplet* terpapar pada aliran eksternal atau gaya eksternal selama proses atomisasi.



**Gambar 1. Proses Disintegrasi Jet Menjadi Droplet**

## 2.2. Faktor Yang Mempengaruhi Atomisasi

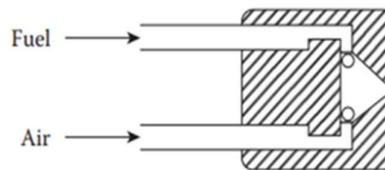
Kinerja *atomizer* jenis apapun sangat bergantung pada ukuran dan geometri dari alat dan sifat fisik dari fase terdispersi itu sendiri, yakni cairan yang akan diatomisasi dan fase kontinu

yang adalah medium gas tempat *droplet* akan tersebar. Pada *plain orifice nozzle* dan *air-blast jet spray* biasa, parameter yang terpenting untuk proses atomisasi adalah diameter *orifice* pelepasan akhir. Sementara pada *air-blast jet spray* tekanan putar dan prafil, dimensi yang paling berpengaruh adalah ketebalan lembaran cairan yang keluar dari alat. Berbagai macam teori dan eksperimen telah mengkonfirmasi bahwa ukuran rata-rata tetesan secara kasar mempunyai korelasi dengan ketebalan lembaran. Jadi, selama faktor-faktor utama lain yang mempengaruhi proses atomisasi tetap konstan, perubahan dalam ukuran *atomizer* akan memengaruhi proses atomisasi. Faktor-faktor tersebut, yaitu:

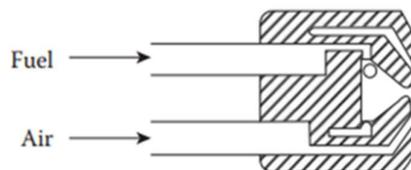
1. Properti cairan (densitas, tegangan permukaan, dan viskositas)[4]
2. Kondisi ambien.
3. Dimensi dan geometri atomizer dengan parameter operasional (tekanan dan laju alir massa cairan dan gas).
4. Parameter operasional (tekanan dan laju aliran massa fluida)

## 2.3. Air-assisted Nozzle

Pada *air-assisted nozzle* beroperasi pada laju aliran rendah dengan pasokan udara tetap dalam tekanan. Namun, tidak ada batasan pada kecepatan udara atau cairan. Pasokan udara disimpan dalam sumber bertekanan, dan dikeluarkan ketika diperlukan dan tidak secara kontinu. Seperti namanya, dalam *air-assisted nozzle*, udara hanya dipasok ketika diperlukan, sedangkan dalam *nozzle airblast*, udara dipasok secara kontinu. *Air-assisted nozzle* mempunyai dua konfigurasi, yaitu konfigurasi internal dan eksternal. Dalam konfigurasi pencampuran internal, gas dan cairan dicampur di dalam *nozzle* terlebih dahulu sebelum dikeluarkan melalui *orifice*. Cairan terkadang disuplai melalui slot tangensial agar terbentuk pola kerucut pada *spray*. Namun, sudut *spray* maksimum dibatasi sekitar 60°. Pada konfigurasi pencampuran eksternal, gas berkecepatan tinggi menimpa cairan di atau di luar *orifice* [5].



**Gambar 2. Internal Mixed Air-Assisted Atomizers**



**Gambar 3. External Mixed Air-Assisted Atomizers**

**2.4. Karakteristik Spray**

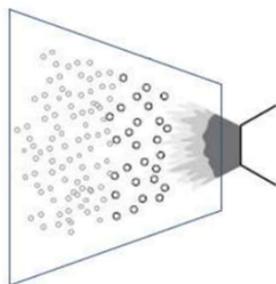
Karakteristik penting pada *spray* bahan bakar cair, meliputi :

1. Panjang *spray*
2. Sudut *spray*
3. Atomisasi bahan bakar (ukuran *droplet*)
4. Tingkat penguapan

Karakteristik diatas akan berkaitan dengan ukuran nyala api pembakaran sesuai desain yang diinginkan dan efisiensi pembakaran yang mampu dicapai oleh *burner* yang didesain.

**2.5. Cerobong Pemanas Fuel Spray**

Cerobong pemanas fuel spray yang bisa dilihat pada Gaambar 4, diusulkan pada penelitian ini untuk membantu atomisasi dan penguapan *fuel spray* di ujung *nozzle*. Cerobong tersebut terbuat dari plat besi dan *aluminum plate*. Dengan pemanasan, *droplet* bahan bakar menjadi lebih halus, meningkatkan efisiensi pembakaran. Pemanasan dengan temperatur yang lebih tinggi dapat menghasilkan *droplet* yang lebih halus lagi, sehingga pembakaran lebih mudah dan stabil. Pemanasan cerobong bisa menggunakan pemanas manual atau elektrik, dan api pembakaran akan sekaligus memanaskan cerobong secara kontinu.



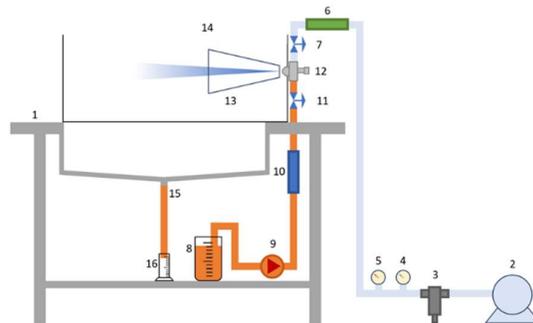
**Gambar 4. Cerobong Pemanas Fuel Spray**

**3. Metode Penelitian**

**3.1. Skematik Pengujian Atomisasi Bahan Bakar**

Prosedur penelitian ini mengikuti skema yang ditunjukkan pada Gambar 5. Pengujian ini dilakukan pada meja penelitian yang didesain secara khusus untuk pengujian *spray*. Pengujian dimulai dengan menghidupkan kompresor yang menyuplai udara ke *nozzle* melalui katup pengatur udara yang dilengkapi dengan *flowmeter gas*, *pressure gauge*, dan *temperature gauge*. Kemudian, melalui katup pengatur udara kedua sebelum memasuki *nozzle*, dari tangki bahan bakar, bahan bakar dialirkan melalui katup pengatur, kemudian melalui penyaring bahan bakar, setelah itu di dorong dengan pompa bahan bakar melewati *flowmeter liquid* dan katup pengatur kedua sebelum memasuki *nozzle* bahan bakar. Di dalam *nozzle* terjadi interaksi antara udara berkecepatan tinggi dengan bahan bakar berkecepatan rendah sehingga terbentuknya *spray*. *Spray* bahan

bakar akan melewati cerobong pemanas yang dilengkapi dengan pengontrol temperatur. Kemudian, bahan bakar akan ditampung kembali pada tangki bahan bakar melalui pipa yang menghubungkan lubang *sink* dengan tangki bahan bakar dilengkapi dengan katup.



Keterangan:

- |                         |                                |
|-------------------------|--------------------------------|
| 1. Meja Penelitian      | 9. Pompa                       |
| 2. Kompresor            | 10. Flowmeter Liquid           |
| 3. Filter Air Kompresor | 11. Katup Pengatur Bahan Bakar |
| 4. Pressure Gauge       | 12. Nosel                      |
| 5. Temperature Gauge    | 13. Cerobong Pemanas           |
| 6. Flowmeter Gas        | 14. Dome                       |
| 7. Katup Pengatur Udara | 15. Selang Penghubung          |
| 8. Gelas Ukur           | 16. Silinder Ukur              |

**Gambar 5. Skematik Pengujian Atomisasi Bahan Bakar**

**3.3. Variabel Bebas**

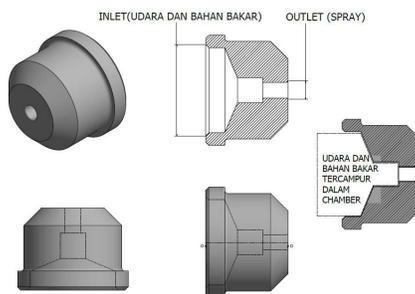
1. Bahan Bakar
  - i. Minyak Jelantah
  - ii. Biodiesel

**3.4. Variabel Terikat**

1. Atomisasi Bahan Bakar

**3.5. Variabel Kontrol**

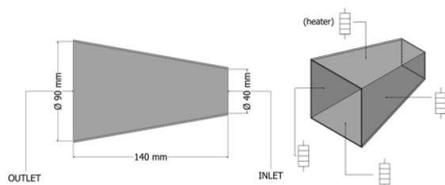
1. *Nozzle* menggunakan *internal mixed air-assisted nozzle*.



**Gambar 6. Internal Mixed Air-Assisted Nozzle**

2. *Air-fuel Ratio* (AFR) dihitung berdasarkan pengukuran *flowmeter* udara dan bahan bakar, yaitu 15:1.
3. Temperatur plat cerobong pemanas 120 °C.
4. Cerobong pemanas model *diffuser* berbentuk limas persegi dengan diameter *inlet* 40 mm, *outlet* 90 mm, panjang 140 mm, dan tebal 0.25 mm, seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.5.3

dengan daya 60 Watt dan material *aluminum plate*.

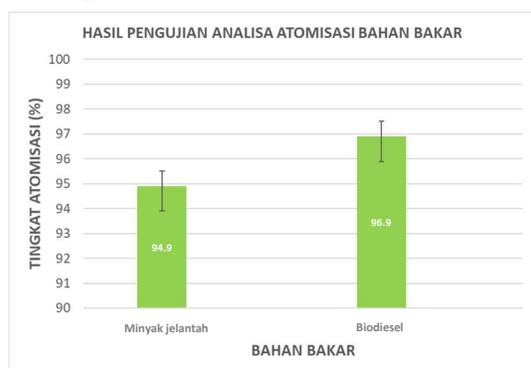


**Gambar 7. Bentuk dan Dimensi Cerobong Pemanas**

#### 4. Hasil dan Pembahasan

##### 4.1. Hasil Pengujian Atomisasi Bahan Bakar

Hasil pengujian atomisasi bahan bakar dapat dilihat pada Gambar 6.



**Gambar 6. Grafik Hasil Pengujian Atomisasi Bahan Bakar**

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa pada pengujian memakai *internal mixed air-assisted nozzle*, persentase biodiesel cenderung lebih besar dibandingkan minyak jelantah dengan selisih 2%. Ini bisa terjadi karena mentahnya komposisi kimia dan besarnya viskositas yang dipengaruhi oleh tingkat kandungan *FFA* dan gliserol dalam minyak jelantah dibandingkan dengan biodiesel yang sudah teresterifikasi. Kandungan-kandungan inilah yang lebih sulit untuk teratomisasi sehingga mempengaruhi selisih hasil persentase minyak jelantah yang lebih kecil daripada biodiesel.

#### 5. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil penelitian dalam mencari perbedaan tingkat atomisasi minyak jelantah dan biodiesel pada penggunaan *internal mixed air-assisted nozzle*, dapat disimpulkan bahwa terdapat kenaikan persentase atomisasi sebesar 2% ketika memakai biodiesel dibandingkan dengan minyak jelantah.

#### Daftar Pustaka

- [1] Math, M. C., Kumar, S. P., & Chetty, S. V. (2010). *Technologies for Biodiesel Production from Used Cooking Oil*
- [2] Maneerung, T., Kawi, S., Dai, Y., & Wang, C. H. (2016). *Sustainable Biodiesel*

#### *Production via Transesterification of Waste Cooking Oil by Using CaO Catalysts Prepared from Chicken Manure.*

- [3] Schick, R. J. (1997). *Spray Technology Reference Guide Understanding Drop Size*
- [4] Graco. (1995). *Atomization Concept and Theory.*
- [5] Ashgriz, N. (2011). *Handbook of Atomization and Sprays.*

	<p><b>Alexander Farrel Rubens Budhiarto</b> menyelesaikan program sarjana di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana pada tahun 2024.</p>
<p>Judul tugas akhir Pengaruh <i>Internal Mixed Air-Assisted Nozzle</i> Terhadap Atomisasi Bahan Bakar dengan Cerobong Pemanas.</p>	

	<p>Ainul Ghurri S.T M.T, Ph.D. menyelesaikan studi S1 di Universitas Brawijaya Malang, dan S2 di Universitas Indonesia. Pendidikan S3 ditempuh di <i>Chonbuk National University</i> Korea Selatan dan selesai pada tahun 2012. Bidang pendidikan dan riset yang didalami meliputi, pembakaran, mesin pembakaran dalam, <i>atomization</i> dan <i>spray</i>, mekanika fluida dan komputasi dinamika fluida (CFD)</p>
---	--

	<p>Dr. I Made Parwata, ST., MT., menyelesaikan pendidikan S3-nya di Institut Teknologi Bandung (ITB) pada tahun 2012, pendidikan S2 diselesaikan di ITS Surabaya pada tahun 2002 dan pendidikan tingkat sarjana juga di selesaikan di ITS pada tahun 1994. Bidang riset yang ditekuni hingga saat ini adalah di bidang tribologi meliputi mekanika kontak, keausan, gesekan, <i>lubrication</i> dan <i>atomization spray</i>. Saat ini bertugas sebagai dosen di PS. Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana</p>
--	---

# Pengaruh Variasi Fraksi Volume Biokomposit Serat Daun Nanas dan Resin Epoxy-Polyester Terhadap Kekuatan Bending dan Daya Serap Air

Muhammad Veros Diega, Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati, dan Dewa Ngakan Ketut Putra Negara

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

Pengembangan industri komposit di Indonesia memerlukan bahan alternatif yang lebih ramah lingkungan, ekonomis, tersedia dalam jumlah besar, berkualitas tinggi, dan dapat terbarukan. Saat ini, industri komposit di Indonesia masih mengandalkan bahan dari sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui, seperti kaca, karbon, dan aramid. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan bahan baku yang ramah lingkungan untuk material penguat komposit, seperti serat alami. Di Indonesia, terdapat berbagai serat alami yang dapat digunakan, seperti serat bambu, tebu, pisang, ijuk, dan lainnya. Penggunaan serat-serat ini sebagai penguat komposit dapat menjadi alternatif yang lebih baik bagi industri komposit di Indonesia. Penelitian ini juga menggunakan campuran resin epoxy-polyester dengan perbandingan 9:1 dan hardener 2:1 sebagai matriks. Komposisi serat dengan resin menggunakan fraksi volume 5% serat : 95% resin, 10% serat : 90% resin, dan 15% serat : 85% resin. Spesimen dibuat menggunakan cetakan akrilik dengan teknik hand layup. Ukuran spesimen sesuai dengan ASTM D790-03 untuk Uji Bending dan ASTM D570-98 untuk Uji Daya Serap Air. Data hasil uji bending menunjukkan bahwa tegangan dan modulus elastisitas bending tertinggi terdapat pada variasi 15% serat daun nanas sebesar 35,969 MPa dan 0,918 MPa, sementara nilai regangan tertinggi pada variasi 10% sebesar 9,409%. Namun, variasi 15% memiliki nilai regangan terendah sebesar 3,773%. Pada uji daya serap air, hasil serapan tertinggi diperoleh pada fraksi 15% serat sebesar 3,36%, dan serapan terendah pada fraksi 5% serat sebesar 2,27%. Dengan hasil pengujian daya serap air diatas pada fraksi 15% serat menjadi nilai tertinggi resapan. Ini terjadi karena serat mempengaruhi kemampuan serap air spesimen.

**Kata kunci:** Serat Daun Nanas, Resin Epoxy, Resin Polyester, Campuran Resin Epoxy Polyester, Fraksi Volume, Uji Bending, Uji Daya Serap Air

## Abstract

The development of the composite industry in Indonesia requires alternative materials that are more environmentally friendly and oriented towards low prices, abundant quantities, high quality, and environmental friendliness. So far, the development of composites in Indonesia has been focused on non-renewable natural resources such as glass, carbon, and aramid. Therefore, it is necessary to develop environmentally friendly composite material reinforcement materials, such as natural fibers. Natural fiber composites are abundant in Indonesia, including bamboo fibers, sugarcane fibers, banana fibers, and others. Utilizing these fibers as composite reinforcement can become a better alternative for the composite industry in Indonesia. This study also uses a mixed epoxy-polyester resin with a ratio of 9:1 and a hardener of 2:1 as the matrix. The composition of fibers with resin uses a volume fraction of 5% fibers: 95% resin, 10% fibers: 90% resin, and 15% fibers: 85% resin. It is molded using an acrylic mold with a hand lay-up technique. The specimen size is based on ASTM D790-03 for bending tests and ASTM D570-98 for water absorption tests. Data from the bending test results show that the highest bending stress and modulus of elasticity values are obtained in the 15% variation of pineapple leaf fiber at 35.969 Mpa and 0.918 Mpa, while the highest strain value in the 10% variation is 9.409%. However, the 15% variation has the lowest strain value of 3.773%. In the water absorption test, the highest absorption was obtained in the 15% fiber fraction of 3.36 % and the lowest absorption in the 5% fiber fraction of 2.27%. With the results of the water absorption test above, the 15% fiber fraction became the highest absorption value. This happens because fiber affects the water absorption ability of the specimen.

**Keywords:** Pineapple Leaf Fiber, Epoxy Resin, Polyester Resin, Epoxy Polyester Resin Blend, Volume Fraction, Bending Test, Water Absorbency Test

## 1. Pendahuluan

Material komposit menawarkan potensi besar untuk berbagai aplikasi teknik karena sifat mekanisnya yang bervariasi dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan. Karakteristik mekanis dari material komposit polimer

diperoleh dari pemilihan serat dan matriks serta metode manufaktur yang digunakan.

Menurut Hadi (2016), industri komposit di Indonesia perlu dikembangkan dengan mencari bahan komposit alternatif untuk memenuhi permintaan yang semakin meningkat

[2]. Saat ini, perkembangan komposit di Indonesia masih mengandalkan sumber daya alam *non renewable* atau tidak dapat diperbarui kembali seperti gelas, karbon, dan aramid sehingga perlu dikembangkan bahan penguat komposit yang ramah lingkungan, seperti serat alami. Indonesia memiliki banyak sumber serat alami, seperti serat bambu, serat tebu, serat pisang, dan ijuk.

Salah satu serat alam yang dapat dipertimbangkan adalah serat daun nanas, karena tanaman nanas sudah banyak dibudidayakan di Indonesia, serta memiliki potensi sumber daya alam yang signifikan. Hingga kini, tanaman nanas sebagian besar dimanfaatkan untuk buahnya sebagai sumber pangan, sementara daunnya dapat digunakan sebagai penghasil serat. Pemanfaatan serat daun nanas dalam komposit polimer merupakan alternatif yang baik, mengingat serat ini dikenal akan kekuatannya, memiliki kualitas tinggi, dan permukaan yang halus [3].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi fraksi volume biokomposit serat daun nanas dan resin epoxy-polyester terhadap kekuatan bending dan uji daya serap air. Rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah, bagaimana pengaruh variasi fraksi volume biokomposit daun nanas dan resin *epoxy-polyester* terhadap kekuatan bending dan uji daya serap air.

Adapun batasan-batasan yang ditetapkan dalam penelitian ini antara lain:

1. Pembuatan komposit menggunakan teknik *press hand lay-up*
2. Parameter lingkungan tertentu seperti suhu dan kelembaban diasumsikan homogen.
3. Jenis nanas yang digunakan berjenis *Smooth Cayenne (Ananas comosus var. comosus)*

## 2. Dasar Teori

### 2.1. Komposit

Komposit terdiri dari dua komponen utama, yaitu matriks yang berperan sebagai pengikat atau pelindung dan pengisi yang berfungsi sebagai filler. Menurut Muhajir (2016), matriks umumnya terbuat dari bahan resin [4]. Resin akan mengikat material sehingga beban yang dikenakan pada komposit akan terbagi rata.

### 2.2. Biokomposit

Biokomposit adalah jenis komposit yang menggunakan bahan dasar yang berasal dari sumber-sumber alami atau organik, seperti tumbuhan, serat, dan bahan-bahan organik lainnya. Bahan dasar dalam biokomposit dapat termasuk serat tumbuhan seperti kayu atau rami,

amilum, polimer alami seperti selulosa, atau bahkan protein. Biokomposit sering digunakan dalam upaya untuk mengurangi dampak lingkungan, karena bahan-bahan dasarnya lebih berkelanjutan dan dapat terurai secara alami [6].

### 2.3. Resin Epoxy

Resin epoxy merupakan salah satu jenis resin yang dibuat menggunakan bahan kimia dan bisa mengeras dalam waktu lambat. Resin ini memiliki kelebihan yaitu tidak mudah pecah maupun tergores.



Gambar 1. Resin Epoxy Sikadur 52-id

### 2.4. Resin Polyester

Resin polyester adalah resin termoset cair dengan viskositas rendah dan cukup banyak digunakan dalam banyak bidang. Penambahan katalis akan membuat resin polyester mengeras pada suhu ruang 20°C – 25°C. Pada umumnya resin polyester bersifat kuat, keras dan tahan terhadap asam, basa, serta panas. Polyester juga tergolong memiliki harga yang murah dibanding resin lainnya.



Gambar 2. Resin Polyester Yakulac 157 BQTN

### 2.5. Serat Daun Nanas

Serat dari daun nanas muda (pineapple-leaf-fibres) memiliki kekuatan yang relatif lebih rendah dan panjang serat yang lebih pendek dibandingkan dengan serat yang berasal dari daun nanas tua [2]. Secara kimia, komponen utama serat adalah selulosa, meskipun serat tersebut juga mengandung lemak dan lilin, hemiselulosa, lignin, pektin, serta zat pewarna yang memberi warna pada serat. Kandungan

kimia ini dapat bervariasi tergantung pada jenis atau varietas nanas [3].



Gambar 3. Serat Daun Nanas

### 2.6. Fraksi Volume

Pada umumnya perbandingan antara serat dan matrik ditunjukkan dalam bentuk fraksi volume serat atau fraksi berat serat. Fraksi volume serat lebih sering digunakan karena tingkat keakuratan yang lebih tinggi dan lebih mudah menentukan nilai perbandingan 12 antara serat dan matriks.

### 2.7. Uji Bending

Uji bending merupakan pengujian yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan terhadap bending atau pembengkokan. Pada pengujian ini menggunakan *three point* bending yang menggunakan jenis tumpuan bebas.



Gambar 4. Proses Uji Bending

### 2.8. Uji Daya Serap Air

Daya serap air (*water absorption*) pada biokomposit serat daun nanas merupakan uji fisik untuk mengetahui kemampuan 15 biokomposit serat daun nanas menyerap air. Pengujian disini dilakukan dengan cara mengukur selisih berat sebelum dan sesudah perendaman di dalam air selama 2 minggu dan ditimbang per 24 jam.

## 3. Metode penelitian

### 3.1. Alat

1. Alat uji : Alat Uji Bending Tensilon RTG-1250 (ASTM D790-03) dan Uji Daya Serap Air (ASTM D570-98).
2. Alat cetak : Cetakan terbuat dari bahan akrilik dengan bentuk persegi. Bahan

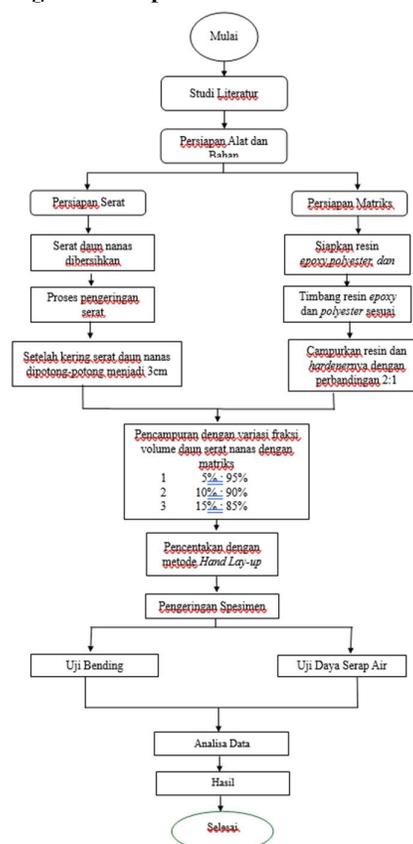
akrilik dipilih karena resin epoxy tidak menempel pada akrilik, permukaannya datar, dan transparan.

3. Alat ukur : Jangka sorong, penggaris, gelas ukur, dan timbangan digital.
4. Alat bantu : Gunting, cutter, kuas, pengaduk elektronik.
5. Alat pembersih : Lap, dan tissue.

### 3.2. Bahan

1. Matrik : *Epoxy sikadur 52-id* dan *Polyster yukalac 157 BQTN*
2. Penguat : Serat daun nanas berjenis *smooth cayene*
3. Aquades
4. Aceton sebagai pembersih cetakan
5. Wax

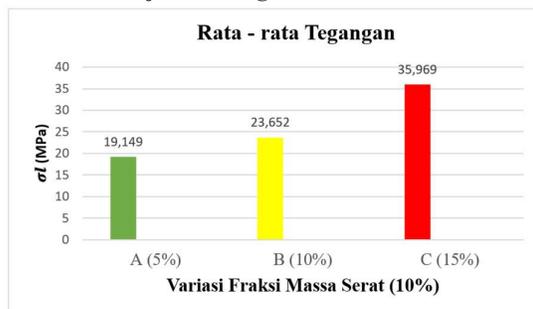
### 3.3. Diagram alir penelitian



Gambar 5. Diagram alir penelitian

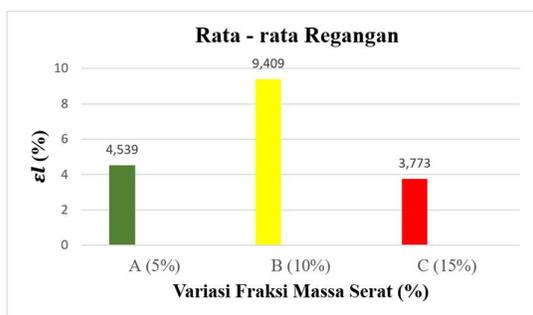
#### 4. Hasil dan Pembahasan

##### 4.1. Hasil Uji Bending



**Gambar 6. Grafik Diagram Tegangan Bending**

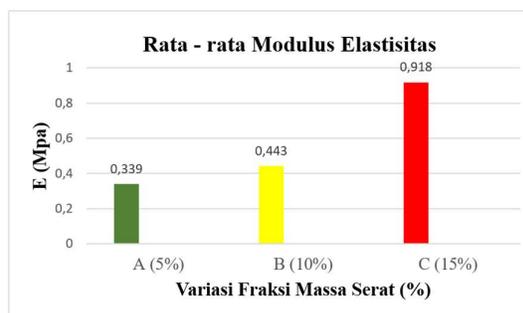
Berdasarkan grafik diagram tegangan bending yang ditunjukkan pada gambar 6 bahwa meningkatnya nilai tegangan bending dikarenakan penambahan serat, grafik pada gambar 6 menjelaskan semakin tinggi variasi massa serat maka tegangan akan semakin tinggi, hal ini ditunjukkan pada variasi massa serat 15% besarnya rata-rata tegangan bending yaitu 35.969 MPa, lebih besar dibanding variasi massa serat 5% yang sebesar 19,149 MPa. Sedangkan untuk variasi massa 10% memiliki nilai rata-rata tegangan sebesar 23,652 Mpa. Hal ini dipengaruhi adanya penambahan jumlah serat didalam biokomposit, sehingga pembebanan yang terjadi tidak hanya diberikan kepada matriks namun juga diberikan kepada serat secara baik. Serupa seperti pada penelitian Sari, N. H., & Sinarep, S. (2011) dimana tegangan bending meningkat seiring dengan bertambahnya serat [5].



**Gambar 7. Grafik Diagram Regangan Bending**

Berdasarkan grafik regangan bending yang ditunjukkan pada gambar 7 bahwa biokomposit dengan variasi fraksi 10% serat memiliki nilai regangan bending tertinggi dengan nilai rata-rata regangan 9,409 %. Untuk variasi fraksi 15% memiliki regangan terendah dengan nilai rata-rata 3,773%. Pada variasi

fraksi 5% serat memiliki nilai rata-rata yaitu 4,539%. Berdasarkan data yang diambil, nilai regangan tertinggi dari seluruh variasi massa berada pada 10% serat. Hal tersebut dapat dibuktikan dengan banyaknya jumlah serat nilai regangan semakin menurun. Serupa seperti pada penelitian Sari, N. H., & Sinarep, S. (2011) semakin banyak jumlah serat regangan bending semakin melemah dikarenakan komposit hanya bertumpu pada serat saja [5].

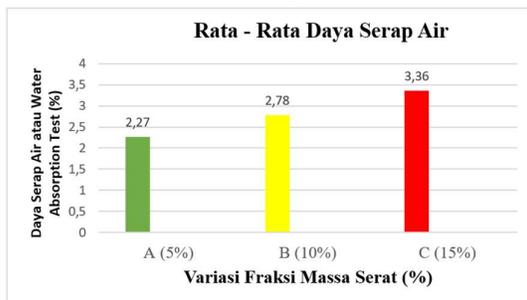


**Gambar 8. Grafik Diagram Modulus Elastisitas**

Pada grafik modulus elastisitas bending yang ditunjukkan pada gambar 8. Nilai modulus elastisitas biokomposit serat nanas dengan matrix bioplastik, menyatakan bahwa pada biokomposit variasi massa 5% serat memiliki nilai modulus elastisitas rata-rata sebesar 3,99 GPa. Sedangkan variasi variasi massa 10% serat memiliki nilai modulus elastisitas rata-rata sebesar 4,43 GPa, dan variasi massa 15% serat mempunyai modulus elastisitas rata-rata sebesar 9,18 GPa. Hal ini disebabkan oleh semakin tinggi nilai modulus elastisitas, maka kekuatan material akan meningkat sementara kemampuan peregangannya menurun. Oleh karena itu, semakin besar nilai modulus elastisitas, semakin kecil perubahan bentuk atau penurunan nilai regangannya [7].

Dengan demikian data pengujian bending memiliki nilai tegangan modulus elastisitas tertinggi pada variasi massa 15% serat dan nilai regangan tertinggi pada variasi massa 10% serat.

## 4.2. Hasil Uji Daya Serap Air



Gambar 9. Grafik Diagram Uji Daya Serap Air

Berdasarkan data diatas, komposit serat daun nanas dengan fraksi volume 5% : 95% memiliki rata rata serap air 2,27 %. Sedangkan untuk fraksi volume 10% : 90% memiliki rata rata serap air 2,78 %. Dan fraksi volume 15% : 85% memiliki rata rata 3,36 %. Nilai rata-rata tertinggi ditunjukkan pada komposit dengan fraksi volume 15% : 85%. Nilai daya serap air dipengaruhi oleh banyaknya serat dan matriks, semakin banyak serat semakin banyak air yang dapat terserap oleh spesimen. Sedangkan matriks mengisi rongga yang mengakibatkan tingkat kerapatannya semakin tinggi, semakin tinggi kerapatannya semakin sulit air bisa teresap ke dalam spesimen.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang sudah penulis lakukan mengenai biokomposit, dengan menggunakan matrik resin epoxy-polyester dan perbandingan variasi massa serat daun nanas, pada pengujian bending didapatkan bahwa tegangan bending dan modulus elastisitas tertinggi terdapat pada variasi massa 85% : 15%, yaitu nilai tegangan bending sebesar 35,969 MPa, dan modulus elastisitas 9,18 GPa, namun memiliki nilai regangan yang terendah yaitu 0,3773%. Regangan bending tertinggi terdapat pada variasi massa 90% : 10% sebesar 9,409%, dengan tegangan bending 23,652 MPa. Tegangan bending dan modulus elastisitas terkecil terdapat pada variasi massa 95% : 5%, dengan nilai tegangan sebesar 19,149 MPa, dan modulus elastisitas 0,339 GPa. Maka semakin besar variasi massa serat yang digunakan akan menghasilkan tegangan bending dan modulus elastisitas yang tinggi namun regangan bending akan menurun. Dengan demikian dapat disimpulkan biokomposit dengan variasi massa 85% : 15% memiliki nilai tegangan dan modulus elastisitas tertinggi, sedangkan untuk nilai regangan tertinggi terjadi pada variasi massa 90% : 10%.

Pada pengujian daya serap air didapatkan pada variasi massa 15% serat

memiliki data serap air dengan rata-rata tertinggi yaitu 3,36 %, dibanding dengan spesimen variasi massa 5% dengan rata-rata daya serap air terkecil yaitu 2,27 %, sedangkan untuk variasi massa 10% didapat rata-rata serap air sebesar 2,78 %. Dari data pengujian yang telah diperoleh semakin banyak serat akan berpengaruh dengan banyaknya air yang diserap, karena dari matrix itu sendiri tidak dapat menahan air untuk masuk pada spesimen.

## Daftar Pustaka

- [1] Fahmi, H. & Hermansyah, H, 2011, *Pengaruh Orientasi Serat Pada Komposit Resin Polyester/ Serat Daun Nenas Terhadap Kekuatan Tarik*. Jurnal Teknik Mesin. 1(1): 46-52.
- [2] Hadi, T. S., Jokosisworo, S., Manik, P., 2016, *Analisa Teknis Penggunaan Serat Daun Nanas Sebagai Alternatif Bahan Komposit Pembuatan Kulit Kapal Ditinjau Dari Kekuatan Tarik, Bending Dan Impact*. In Jurnal Teknik Perkapalan (Vol. 4, Issue 1).
- [3] Hidayat, P., *Teknologi Pemanfaatan Serat Daun Nanas Sebagai Alternatif Bahan Baku Tekstil*.
- [4] Muhajir, M., Alfian Mizar, M. and Agus Sudjimat, D., 2016, *Analisis Kekuatan Tarik Bahan Komposit Matriks Resin Berpenguat Serat Alam Dengan Berbagai Varian Tata Letak*.
- [5] Sari, N. H., & Sinarep, S, 2011, *Analisa Kekuatan Bending Komposit Epoxy dengan Penguatan Serat Nilon*.
- [6] Sujito, Sudarmadji, Purwandari, E., 2019, *Pengembangan Bahan Komposit Ramah Lingkungan Berpenguat Serat Ampas Tebu dan Resin Biodegradable*.
- [7] Wiyono, A. W. W., Setiawan, A., Hidayat, Nur, 2012, *Pengaruh Suhu Terhadap Modulus Elastisitas dan Angka Poisson Beton Aspal Lapis Aus (AC-WC) dengan Kapur sebagai Filler*. In Jurnal Rekayasa dan Manajemen Transportasi (Vol II No, 2, Juli 2012).

	<p><b>Muhammad Veros Diega</b> 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>	

	<p><b>Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati</b> 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><b>Dewa Ngakan Ketut Putra Negara</b> menerima gelar BSc di bidang Teknik Mesin dari Universitas Brawijaya pada tahun 1995, MSc di bidang Teknik dan Manajemen Sistem Manufaktur dari University of Bradford pada tahun 2001, dan Dr. dari Program Doktor Ilmu Teknik, Fakultas Teknik, Universitas Udayana pada tahun 2020. Bidang penelitiannya adalah material adsorben untuk penyimpanan dan pemurnian gas.</p>
---	--

# Pengaruh Fraksi Massa Serat Pada Greencomposite Serat Daun Nanas dan Sari Pati Kentang Terhadap Kemampuan Peredaman Suara dan Porositas

Jagjiwen, Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati, dan Ketut Astawa  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

Penggunaan bahan-bahan seperti plastik berbasis minyak bumi, logam berat, dan beton telah digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi, mulai dari konstruksi hingga manufaktur. Namun, bahan-bahan ini dapat menyebabkan dampak negatif pada lingkungan. Bahan komposit berbasis serat alami, seperti serat daun nanas dan sari pati kentang, menawarkan alternatif yang lebih ramah lingkungan. Penelitian ini menguji penyerapan suara dari greencomposite yang terdiri dari dua komponen yaitu sari pati kentang sebagai matriks dan serat nanas sebagai penguatnya dengan menggunakan metode tabung impedansi. Data hasil pengujian menunjukkan komposit serat daun nanas dengan variasi 5% serat dengan panjang serat 0,5cm, dan 1cm memiliki nilai koefisien penyerapan bunyi tertinggi pada saat diberikan bunyi dengan frekuensi 400 Hz yakni dengan nilai  $\alpha$  0,24. Sementara, komposit 15% serat dengan panjang serat 1cm merupakan komposit yang paling baik dan stabil digunakan sebagai bahan peredam bunyi pada rentang frekuensi bunyi 1200 Hz sampai dengan 4000 Hz. Pengaruh variasi fraksi massa serat nanas terhadap porositas dari spesimen dibuktikan dengan adanya peningkatan secara konsisten terhadap spesimen dengan panjang serat 0,5cm maupun 1cm yaitu 41.3%, 42.7%, 44.4%, dan juga 44.5%, 44.9%, 45.6% secara berurutan sehingga dapat diketahui semakin besar fraksi massa serat pada spesimen semakin besar juga porositas pada spesimen tersebut.

Kata kunci: Greencomposite, Serat Nanas, Sari Pati Kentang, Fraksi Massa Serat, Pengujian Akustik, Porositas, Peredaman Suara

## Abstract

The use of materials such as petroleum-based plastics, heavy metals, and concrete has been widespread in various applications, from construction to manufacturing. However, these materials can have negative environmental impacts. Natural fiber-based composites, such as pineapple leaf fiber and potato starch, offer a more environmentally friendly alternative. This study examines the sound absorption properties of a greencomposite made from two components: potato starch as the matrix and pineapple leaf fiber as the reinforcement, using the impedance tube method. The test results show that the pineapple leaf fiber composite with a 5% fiber fraction and fiber lengths of 0.5 cm and 1 cm has the highest sound absorption coefficient ( $\alpha$  0.24) at 400 Hz. Meanwhile, the 15% fiber composite with 1 cm fiber length is the most effective and stable sound-absorbing material in the frequency range of 1200 Hz to 4000 Hz. The effect of varying the pineapple fiber mass fraction on the specimen's porosity was demonstrated by a consistent increase in porosity with fiber lengths of 0.5 cm and 1 cm, showing values of 41.3%, 42.7%, 44.4%, and 44.5%, 44.9%, 45.6%, respectively. This indicates that higher fiber mass fractions lead to greater porosity in the specimens.

Keywords: Greencomposite, Pineapple Fiber, Potato Starch, Fiber Mass Fraction, Acoustic Testing, Porosity, Sound Absorption

## 1. Pendahuluan

Bahan-bahan konvensional, seperti plastik berbasis minyak bumi, logam berat, dan beton, telah menjadi tulang punggung perkembangan industri modern. Bahan-bahan tersebut telah digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi, mulai dari konstruksi hingga manufaktur, karena sifat-sifatnya yang mudah ditemukan dan kuat. Penggunaan bahan-bahan ini menyebabkan dampak negatif pada lingkungan, oleh karena itu pentingnya kesadaran masyarakat dan industri akan dampak kepada lingkungan dari bahan konvensional, termasuk polimer berbasis minyak bumi.

Membahas tentang kelanjutan dari dampak lingkungan, bahan komposit adalah contoh yang menarik. Bahan komposit tradisional yang menggunakan serat sintetis atau logam mungkin tidak

selalu ramah lingkungan dalam produksi dan pemakaiannya. Salah satu bahan komposit yang penggunaannya cukup bagus jika makin dikembangkan adalah serat alam, serat alam yaitu serat yang langsung diperoleh dari alam. Serat alam umumnya terbuat dari bermacam-macam tumbuhan dan daun-daunan.

Pada saat ini, penggunaan material berpenguat serat alam terus berkembang dan semakin diminati oleh dunia industri. Hal ini disebabkan serat alam memiliki massa jenis yang rendah, mampu terbiodegradasi, mudah didaur ulang, memiliki sifat mekanis yang baik dan mudah didapatkan karena berasal dari alam [9]. Oleh karena itu, *greencomposite* yang menggunakan serat alami menjadi alternatif menarik karena memiliki potensi untuk mengurangi dampak lingkungan. *Greencomposite* menawarkan

alternatif yang lebih ramah lingkungan. *Greencomposite* menjadi solusi yang menarik untuk mengurangi jejak lingkungan dalam berbagai aplikasi, termasuk konstruksi, otomotif, dan manufaktur produk berkelanjutan lainnya.

*Greencomposite* adalah bahan komposit yang terbuat dari serat alami, seperti serat nenas atau serat saripati kentang, yang dicampur dengan matriks polimer ramah lingkungan. Keunggulan serat nenas yang digunakan sebagai penguat adalah serat nenas memiliki kekuatan yang cukup baik, sehingga dapat memberikan kekuatan tambahan pada material komposit, dan juga cenderung ringan, sehingga dapat menambah kekuatan tanpa menambah berat secara signifikan. Terdapat juga keunggulan yang dimiliki dari sari pati kentang sebagai matriks, sari pati kentang memiliki sifat perekat yang baik, sehingga dapat menyatukan serat nenas dengan baik dan membentuk material yang kokoh dan kentang adalah sumber daya yang dapat diperbarui dan mudah didaur ulang. Dengan menggabungkan serat nenas yang kuat dan ringan dengan sari pati kentang sebagai matriks kita dapat menciptakan material komposit yang memiliki keunggulan. Bahan ini digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk konstruksi, otomotif, dan produk-produk ramah lingkungan lainnya karena sifatnya yang ringan, kuat, dan mudah di daur ulang. *Greencomposite* adalah material inovatif yang semakin mendapatkan perhatian dalam berbagai aplikasi, terutama dalam konteks lingkungan yang berkelanjutan. Terdapat juga karakteristik dari *greencomposite* itu sendiri yaitu, kemampuan *greencomposite* untuk memiliki tingkat porositas yang terkendali dapat mempengaruhi berbagai sifat, seperti kemampuan peredaman suara atau isolasi termal.

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menganalisis pengaruh fraksi massa serat nenas dan saripati kentang terhadap sifat peredaman suara *greencomposite* dan menganalisis pengaruh tingkat porositas dalam *greencomposite* terhadap peredaman suara. Adapun rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh fraksi massa serat daun nenas dengan panjang serat 0,5 cm, 1 cm, dan sari pati kentang terhadap tingkat porositas dan sifat peredaman suara *greencomposite*.
2. Bagaimana tingkat porositas dan sifat peredaman suara *greencomposite*.

Batasan-batasan masalah yang ditetapkan dalam penelitian ini antara lain:

1. Bahan *greencomposite* yang digunakan adalah sari pati kentang sebagai matriks dengan bahan penguat serat nenas.
2. Temperatur ruangan dan tekanan dianggap konstan pada teknik pembuatan *greencomposite*.

## 2. Dasar Teori

### 2.1. Komposit

Komposit adalah material yang terdiri dari dua atau lebih material yang berbeda yang digabungkan dalam skala makroskopis [3]. Tujuan utama dari komposit adalah untuk memanfaatkan kekuatan, ketahanan, atau karakteristik khusus dari masing-masing komponen material untuk menghasilkan performa yang lebih baik dalam berbagai aplikasi, seperti dalam industri manufaktur, otomotif, penerbangan, dan banyak bidang lainnya. Komposit umumnya terdiri dari dua komponen utama, yang pertama matriks, dan yang kedua penguat. Matriks biasanya adalah material yang lebih lemah, yang mengelilingi dan mengikat serat atau penguat untuk membentuk struktur keseluruhan. Penguat, di sisi lain, adalah material yang memiliki kekuatan atau karakteristik khusus, seperti kekuatan tarik atau tahanan panas yang tinggi.

Keuntungan utama dari komposit meliputi peningkatan kekuatan, kekakuan, dan keuletan. Hal ini membuat komposit sangat berguna dalam situasi di mana performa material yang tinggi dibutuhkan, seperti dalam pembuatan pesawat, kendaraan berat, dan konstruksi peralatan olahraga. Selain itu, komposit juga dapat didesain untuk memenuhi persyaratan khusus dalam hal konduktivitas listrik, tahanan korosi, dan sifat lainnya sesuai dengan kebutuhan aplikasi tertentu. Tergantung pada jenis komponen dan metode produksi yang digunakan, komposit dapat memiliki berbagai macam aplikasi.

### 2.2. *Greencomposite*

*Greencomposite* adalah istilah yang digunakan untuk merujuk kepada komposit yang dibuat dengan menggunakan material alami, organik, atau bahan daur ulang yang memiliki sifat-sifat yang ramah lingkungan. *Greencomposite* dikembangkan dengan memanfaatkan bahan-bahan yang ramah lingkungan, seperti serat nenas, serat bambu, serat sabut kelapa, serat ampas tebu, serat rami, dan beberapa serat alam lainnya. *Greencomposite* dapat membantu mengurangi jejak karbon karena menggunakan sumber daya yang dapat diperbarui dan memiliki proses produksi yang lebih ramah lingkungan, hal ini sejalan dengan upaya global untuk mengatasi perubahan iklim dan meminimalkan dampak negatif industri terhadap lingkungan. Dapat diketahui bahwa *greencomposite* membawa inovasi dalam pengembangan material, menggabungkan kekuatan mekanik serat alam dengan sifat-sifat unik matriks yang berasal dari sumber daya terbarukan. Ini memberikan alternatif yang menarik dan baik dalam berbagai aplikasi. Keberhasilan *greencomposite* dapat memicu perubahan dalam industri, dapat membuat perusahaan-perusahaan untuk mengembangkan praktik lebih berkelanjutan dan bertanggung jawab terhadap lingkungan. Ini dapat menjadi inovasi baru untuk perubahan positif di dunia industri.

### 2.3. Serat Nenas

Serat nenas adalah serat alami yang diperoleh dari daun nenas atau nanas (*Ananas comosus*). Serat ini merupakan bagian dari tanaman nanas yang umumnya tidak dimakan dan sering dianggap sebagai limbah dalam industri pertanian. Akan tetapi, serat nenas memiliki berbagai sifat dan potensi aplikasi yang bermanfaat. Serat nenas telah digunakan secara tradisional oleh beberapa komunitas untuk membuat tali, kertas, kain, atau anyaman. Serat ini memiliki sifat mekanis yang cukup baik dan dapat digunakan dalam berbagai aplikasi yang memerlukan kekuatan dan ketahanan terhadap kerusakan. Selain penggunaan tradisional, salah satu keuntungan utama serat nenas adalah sifatnya ramah lingkungan yang berarti dapat diurai secara alami tanpa meninggalkan limbah berbahaya.



Gambar 1. Serat Nenas

Serat nenas memiliki sifat-sifat seperti kekuatan tarik yang baik, kekakuan, dan ketahanan terhadap serangan hama dan rayap. Kelebihan ini membuat jenis serat nenas menonjol dalam aplikasi yang memerlukan bahan yang tahan lama. Selain digunakan dalam pembuatan komposit, serat ini juga digunakan dalam produk-produk seperti tas anyaman, tikar, hiasan dinding, dan banyak barang kerajinan lainnya.

Sifat karakteristik mekanik serat nenas meliputi kekuatan tarik adalah kemampuan serat untuk menahan beban tarik. Nilai kekuatan tarik serat nenas berkisar antara 100-150 MPa. Nilai ini setara dengan kekuatan serat kapas dan lebih tinggi dari kekuatan serat poliester. Sedangkan nilai kekuatan lentur serat nenas berkisar antara 30-40 MPa. Kekuatan lentur adalah kemampuan serat untuk menahan beban lentur. Nilai ini lebih rendah dari kekuatan tarik, tetapi masih cukup tinggi untuk digunakan sebagai bahan baku berbagai produk.

### 2.4. Sari Pati Kentang

Sari pati kentang, atau yang juga dikenal dengan sebutan pati kentang, adalah bahan yang diekstrak dari kentang (*Solanum Tuberosum*). Ini adalah salah satu komponen utama dalam kentang yang kaya akan pati. Sari pati kentang diperoleh melalui ekstraksi dari umbi kentang. Proses ekstraksi ini melibatkan menghancurkan kentang, mencuci, menyangring, dan mengendapkan suspensi untuk

memisahkan pati dari komponen lainnya. Bahan ini ramah lingkungan karena bahan baku utamanya mudah ditanam dan dapat diperbaharui dengan cepat.

### 2.5. Uji Peredaman Suara

*Sound Absorption Test*, atau uji absorpsi suara, adalah uji yang dilakukan untuk mengukur kemampuan suatu bahan, objek, atau permukaan dalam menyerap gelombang suara daripada memantulkannya atau meneruskannya. Ini adalah aspek penting dalam bidang rekayasa akustik dan desain. Tujuan utama dari uji absorpsi suara adalah untuk menentukan sejauh mana energi suara yang dapat di redam oleh suatu material atau permukaan tertentu, yang membantu dalam merancang ruang dengan karakteristik akustik yang sesuai. Penelitian ini menguji penyerapan suara dari *greencomposite* yang terdiri dari dua komponen yaitu saripati kentang sebagai matriks dan serat nenas sebagai penguatnya dengan menggunakan metode tabung impedansi.



Gambar 2. Tabung Impedansi ASTM E : 1050 : 1998

### 2.6. Uji Porositas

Uji porositas adalah metode yang digunakan untuk mengukur jumlah rongga dalam suatu bahan atau material. Porositas itu sendiri bertujuan pada sejauh mana suatu bahan memiliki rongga di dalamnya. Penelitian ini menguji porositas material *greencomposite* yang akan diuji menurut ASTM D 792-08. Penyerapan suara komposit sangat berhubungan dengan porositas yang terdapat pada matriks sari pati kentang, semakin tinggi porositas atau semakin banyak rongga pada suatu bahan maka semakin baik kemampuannya dalam menyerap suara.

## 3. Metode-penelitian

### 3.1. Alat Penelitian

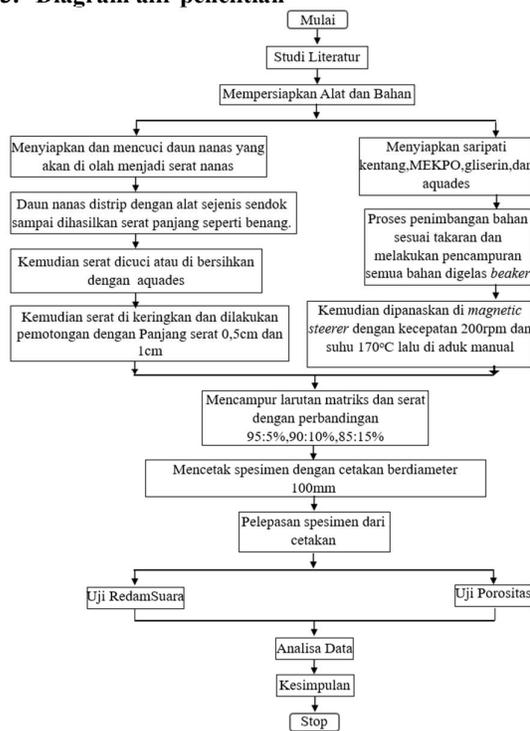
1. Alat uji dengan jenis tabung impedansi yang sesuai dengan ASTM E 1050-1998 untuk menguji penyerapan suara.
2. Gelas Beaker digunakan untuk mengukur volume bahan-bahan yang nantinya akan dipanaskan dan diaduk pada alat magnetic steerer.
3. Cetakan dengan diameter 100mm yang berbahan dasar kaca untuk mencetak matriks yang akan dicampur dengan serat nenas.
4. Timbangan digital untuk menimbang Massa matriks dan penguatnya.
5. Magnetic Steerer adalah alat yang digunakan untuk mengaduk larutan atau campuran bahan kimia.

6. Saringan untuk menyaring air kentang menjadi filtrat yang mengandung pati.
7. Blender untuk menghaluskan kentang agar mendapatkan cairan dari kentang.
8. Gunting untuk memotong serat sesuai ukuran yang di inginkan.

### 3.2. Bahan Penelitian

1. Kentang/sari pati kentang
2. Serat nanas
3. Aquades
4. Hardener
5. Gliserin

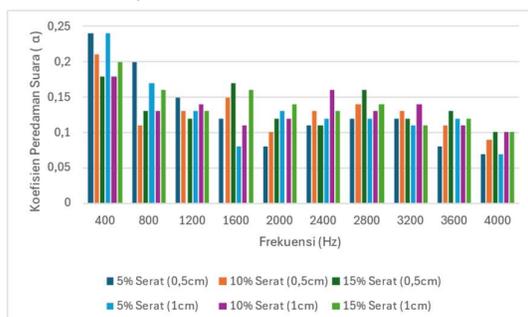
### 3.3. Diagram alir penelitian



Gambar 3. Diagram alir penelitian

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1. Hasil Uji Peredaman Suara



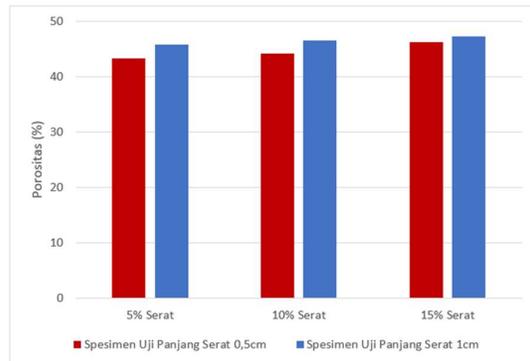
Gambar 4. Grafik Hubungan Frekuensi dan  $\alpha$

Pada grafik batang, gabungan tiap fraksi dengan panjang serat 0,5cm dan 1cm diatas, data yang ditampilkan merupakan frekuensi dan koefisien redam suara ( $\alpha$ ). Pada frekuensi 400Hz nilai tertinggi terdapat pada fraksi 5% dengan panjang serat 0,5cm dan 1cm yaitu  $\alpha$  0.24, pada frekuensi 800Hz nilai tertinggi terdapat pada fraksi 5% dengan panjang serat 0,5cm yaitu  $\alpha$  0.20, pada frekuensi 1200Hz nilai tertinggi terdapat pada fraksi 5% dengan panjang serat 0,5cm yaitu  $\alpha$  0.15, dilanjut pada frekuensi 1600Hz nilai tertinggi terdapat pada fraksi 15% dengan panjang serat 0.5cm yaitu  $\alpha$  0.17, kemudian pada frekuensi 2000Hz nilai tertinggi terdapat pada fraksi 15% dengan panjang serat 1cm yaitu  $\alpha$  0.14, pada frekuensi berikutnya yaitu 2400Hz nilai tertinggi terdapat pada fraksi 10% dengan panjang serat 1cm yaitu  $\alpha$  0.16, selanjutnya pada frekuensi 2800Hz nilai tertinggi terdapat pada fraksi 15% dengan panjang serat 0,5cm yaitu  $\alpha$  0.16, berikutnya pada frekuensi 3600Hz nilai tertinggi terdapat pada fraksi 15% dengan panjang serat 0,5cm yaitu  $\alpha$  0.13, yang terakhir pada frekuensi 4000Hz yang memiliki nilai tertinggi terdapat pada fraksi 15% dengan panjang serat 0,5cm dan 1cm dan juga fraksi 10% dengan panjang serat 1cm memiliki nilai yang sama yaitu  $\alpha$  0.10. Dilihat pada grafik batang diatas nilai terkecil pada keseluruhan terdapat pada frekuensi 4000Hz pada fraksi 5% dengan panjang serat 0,5cm dan 1cm memiliki nilai yang sama yaitu  $\alpha$  0.07, sedangkan nilai tertinggi pada keseluruhan terdapat pada frekuensi 400Hz pada fraksi 5% dengan panjang serat 0,5cm dan 1cm yaitu  $\alpha$  0.24. Fraksi 5% dengan panjang serat 0,5cm dan 1cm memiliki nilai  $\alpha$  yang cukup tinggi hanya pada rentang frekuensi 400Hz-1200Hz saja, sedangkan pada rentang 1600Hz-4000Hz cenderung memiliki nilai  $\alpha$  yang rendah.

Spesimen yang dapat dikatakan sebagai spesimen yang dapat meredam suara yang baik terdapat pada fraksi 5% dengan panjang serat 0,5cm dan 1cm pada frekuensi 400Hz dengan nilai  $\alpha$  0.24, spesimen pada fraksi 15% dengan panjang serat 0,5cm dan 1cm pada frekuensi 1600Hz dengan nilai  $\alpha$  0.17 dan 0.16, spesimen pada fraksi 10% dengan panjang serat 1cm pada frekuensi 2400Hz dengan nilai  $\alpha$  0.16, dan yang terakhir spesimen dengan fraksi 15% dan panjang serat 0,5cm pada frekuensi 2800Hz dengan nilai  $\alpha$  0.16. Spesimen dikategorikan sebagai peredam suara yang baik ketika nilai  $\alpha > 0,15$  (ISO, 1997). Rendah dan tingginya nilai koefisien redam suara yang menjadi tidak stabil, karena terjadi pembuangan energi oleh spesimen yang mengakibatkan terjadinya penurunan koefisien redaman suara setelahnya [7]. Hayat (2013) dalam penelitiannya mengenai pengaruh kerapatan terhadap koefisien absorpsi bunyi papan partikel serat daun nenas menyimpulkan bahwa papan serat daun nenas hampir menyerap semua bunyi yang datang padanya. Namun, serat daun nenas hanya

menunjukkan kemampuan menyerap bunyi pada rentang frekuensi tertentu saja.

#### 4.2. Hasil Uji Porositas



Gambar 5. Grafik Hubungan Porositas dengan Panjang Serat 0,5cm & 1cm

Dari hasil penggabungan 2 grafik, terlihat untuk spesimen yang memiliki rata-rata tertinggi terdapat pada spesimen dengan fraksi 15% dan panjang serat 1cm. Akan tetapi, spesimen dengan fraksi 15% dan panjang 0,5cm juga memiliki nilai rata-rata yang tinggi, sedangkan spesimen yang memiliki nilai rata-rata terendah terdapat pada spesimen dengan fraksi 5% dan panjang serat 0,5cm. Secara keseluruhan terlihat bahwa variasi panjang serat 1cm memiliki nilai porositas lebih tinggi setiap fraksi dibandingkan variasi panjang serat 0,5cm

Nilai rata-rata porositas semakin meningkat tiap fraksi, oleh karena itu penambahan serat pada spesimen memiliki dampak positif bagi penyerapan suara. Hal ini disebabkan semakin besarnya fraksi massa serat pada spesimen yang membuat porositas menjadi lebih besar. Penambahan serat dalam komposit meningkatkan nilai porositas dari komposit, karena daya rekat antara serat dan matriks semakin kurang rapat [8]. Dari hasil pengujian peredaman suara dan porositas terlihat bahwa hubungan antara porositas dengan redaman suara sangat erat, semakin tinggi porositas suatu bahan maka semakin baik kemampuannya dalam menyerap suara [6].

#### 5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang sudah penulis lakukan mengenai *greencomposite* serat daun nanas dan sari pati kentang, penambahan fraksi pada spesimen uji berpengaruh terhadap nilai porositas, karena nilai tertinggi porositas terdapat pada fraksi 15% dengan panjang serat 0,5cm dan 1cm. Hal tersebut membuat spesimen pada fraksi 5% dengan panjang serat 0,5cm dan 1cm dapat melakukan peredaman suara yang baik hanya pada frekuensi rendah. Pada penelitian ini yang menjadi spesimen yang baik dalam melakukan peredaman suara terdapat pada Spesimen fraksi 5% dengan panjang serat 0,5cm dan 1cm pada frekuensi 400Hz, spesimen pada fraksi 15% dengan panjang serat 0,5cm dan 1cm pada

frekuensi 1600Hz, spesimen pada fraksi 10% dengan panjang serat 1cm pada frekuensi 2400Hz, dan yang terakhir spesimen dengan fraksi 15% dan panjang serat 0,5cm pada frekuensi 2800Hz.

Pada penelitian ini porositas menunjukkan pengaruh pada peredaman suara, dibuktikan dengan nilai porositas tertinggi terdapat pada spesimen fraksi massa 15% dengan panjang serat 1cm. Maka dari itu, semakin besar juga nilai rata-rata peredaman suara dengan fraksi 15% dan panjang serat yang sama yaitu 1cm.

#### Daftar Pustaka

- [1] Andari, R., 2017, *Pengujian Karakteristik Absorpsi dan Impedansi Material Akustik Serat Alam Menggunakan Metode Tabung*. *Jurnal Teknik Elektro ITP*, 6(2), 154–162.
- [2] Bahri, S. & Manik, T. N., 2016, *Pengukuran Sifat Akustik Material Dengan Metode Tabung Impedansi Berbasis Platform Arduino*. In *Jurnal Fisika FLUX (Vol. 13, Issue 2)*.
- [3] Gibson, R.F., 1994, *Principles of Composite Material Mechanics*. Michigan: McGrawHill, Inc.
- [4] Hayat, W., Syakbaniah, Darvina, Y., 2013, *Pengaruh Kerapatan Terhadap Koefisien Absorpsi Bunyi Papan Partikel Serat Daun Nenas (Ananas comosus L Merr)*. *J. Pillar Physycs* 1, 44–51.
- [5] Hidayat, P., 2008, *Teknologi Pemanfaatan Serat Daun Nanas Sebagai Alternatif Bahan Baku Tekstil*. 13(2), 31–35.
- [6] Pratiwi, P., Fahmi, H., & Saputra, F., 2017, *Pengaruh Orientasi Serat Terhadap Redaman Suara Komposit Berpenguat Serat Pinang*. *Jurnal Simetris*, 8.
- [7] Ridhola, F., 2015, *Pengukuran Koefisien Absorpsi Material Akustik Dari Serat Alam Ampas Tebu Sebagai Pengendali Kebisingan*. In *MARET (Vol. 7, Issue 1)*.
- [8] 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.
- [9] Wardhana, H. & Haryanti, N. H., 2016, *Serat Alam: Potensi dan Pemanfaatannya*. *Lambung Mangkurat University Press*.

 A portrait of a man with dark hair and a mustache, wearing a dark blue jacket over a white collared shirt. He is positioned against a solid red background.	<p><b>Jagjiwen</b> 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>	

# Pengaruh Variasi Fraksi Volume Biokomposit Serat Daun Nanas dan Resin *Epoxy-polyester* Terhadap Kekuatan Tarik dan Densitas

Schubert Ariell P.S.Siburian, Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati, dan Dewa Ngakan Ketut Putra Negara

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

Penelitian ini menginvestigasi pengaruh variasi fraksi volume dalam biokomposit yang terdiri dari serat daun nanas dan resin epoxy-polyester terhadap kekuatan tarik dan densitas material. Metode eksperimental digunakan untuk memproduksi biokomposit dengan fraksi volume yang bervariasi dari serat daun nanas dan resin epoxy-polyester. Penelitian ini juga menggunakan resin campuran epoxy-polyester dengan perbandingan 9:1 dan hardener 2:1 sebagai matriks. Komposisi serat dengan resin menggunakan fraksi volume 5% serat : 95% resin, 10% serat : 90% resin, dan 15% serat : 85% resin. Spesimen ini dicetak menggunakan cetakan akrilik dengan teknik hand layup. Ukuran spesimen berdasarkan pada ASTM D3039 untuk Uji Tarik dan ASTM D792-08 untuk Uji Densitas. Pada pengujian tarik didapatkan nilai tegangan, regangan dan modulus elastisitas. Nilai rata-rata tegangan tarik mengalami kenaikan paling besar pada variasi fraksi 10% serat daun nanas sebesar 9,279 MPa dan mendapatkan nilai terkecil pada fraksi 15% serat daun nanas sebesar 7,219 Mpa. Nilai rata-rata regangan terus mengalami kenaikan seiring bertambah serat pada fraksi volume, nilai terendah terdapat pada variasi fraksi 5% serat daun nanas sebesar 0,072% sedangkan nilai terbesar terdapat pada variasi fraksi 15% serat daun nanas sebesar 1,297%. Pada modulus elastisitas nilai terkecil diperoleh pada variasi fraksi 15% serat daun nanas sebesar 0,679 GPa sedangkan nilai terbesar diperoleh di variasi 5% serat daun nanas sebesar 0,328 GPa. Pada pengujian densitas nilai terkecil terdapat pada variasi fraksi 5% serat daun nanas sebesar 0,768 gr/cm<sup>3</sup> dan nilai densitas terbesar didapatkan pada variasi fraksi 15% serat daun nanas sebesar 1,091 gr/cm<sup>3</sup>, sementara pada variasi fraksi 10% serat daun nanas didapatkan nilai sebesar 1,090 gr/cm<sup>3</sup>, semakin bertambahnya variasi fraksi maka nilai densitas yang didapat semakin rendah

Kata kunci: Serat Daun Nanas, Resin epoxy-polyester, Uji Tarik, Uji Densitas

## Abstract

This study investigates the influence of varying volume fractions in biocomposites consisting of pineapple leaf fibers and epoxy-polyester resin on the tensile strength and density of the material. An experimental method was used to produce biocomposites with varying volume fractions of pineapple leaf fibers and epoxy-polyester resin. The study utilized a mixed epoxy-polyester resin with a ratio of 9:1 and a hardener at a 2:1 ratio as the matrix. The fiber-to-resin composition utilized volume fractions of 5% fiber to 95% resin, 10% fiber to 90% resin, and 15% fiber to 85% resin. The specimens were molded using an acrylic mold with the hand layup technique. Specimen dimensions were based on ASTM D3039 for tensile testing and ASTM D792-08 for density testing. In the tensile test, values for stress, strain, and elastic modulus were obtained. The average tensile stress showed the highest increase at the 10% pineapple leaf fiber fraction, reaching 9.279 MPa, and the lowest at the 15% fiber fraction, with a value of 7.219 MPa. The average strain increased continuously with the addition of fiber volume fractions, with the lowest value at the 5% fiber fraction at 0.072% and the highest at the 15% fiber fraction at 1.297%. For the elastic modulus, the smallest value was obtained at the 15% fiber fraction at 0.679 GPa, while the largest value was obtained at the 5% fiber fraction at 0.328 GPa. In the density test, the lowest value was found at the 5% fiber fraction at 0.768 g/cm<sup>3</sup>, and the highest density value was found at the 15% fiber fraction at 1.091 g/cm<sup>3</sup>, with the 10% fiber fraction yielding a value of 1.090 g/cm<sup>3</sup>. As the volume fraction increased, the resulting density values decreased.

Keywords: Pineapple Leaf Fiber, Epoxy-polyester Resin, Tensile Test, Density Test

## 1. Pendahuluan

Komposit adalah material baru yang diharapkan memiliki kualitas baik dari material-material baku untuk mendapatkan sifat mekanis yang lebih baik dan bernilai. Komposit umumnya terbentuk dari dua komponen utama, yaitu *reinforcement* (bahan penguat) dan *matrix* (bahan pengisi). Untuk menghasilkan bahan komposit yang berkualitas, penguat harus memiliki sifat mekanis yang lebih rendah daripada bahan matriks. Biokomposit adalah suatu jenis material komposit yang terbuat dari campuran dua atau beberapa bahan, yang salah satu

atau lebih komponennya merupakan bahan biologis atau organik. Biomaterial ini seringkali berasal dari alam seperti serat tumbuhan, serat kayu atau bahan biopolimer seperti pati atau protein. Komponen organik ini kemudian dicampur dengan bahan penguat seperti *fiberglass*, serat karbon atau bahan anorganik lainnya hingga membentuk suatu bahan komposit. Tujuan utama produksi biokomposit adalah menggabungkan keunggulan sifat organik dan anorganik untuk menghasilkan bahan dengan sifat unik dan bermanfaat.

Matriks merupakan fase atau substansi yang melingkupi, melapisi, atau menggabungkan bahan penguat dalam biokomposit tersebut. Matriks berperan sebagai pengikat yang menghubungkan serat atau partikel penguat dalam struktur yang kohesif. Peran matriks dalam biokomposit adalah untuk mengalihkan beban antara serat atau penguat, mendistribusikan beban secara merata, serta menjaga serat agar tidak mengalami kerusakan akibat pengaruh luar seperti korosi atau dampak fisik. Serat alami merupakan salah satu penguat yang dapat dimanfaatkan pada pembuatan biokomposit. Komposit dengan serat alami mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan serat sintetis antara lain memiliki berat yang lebih ringan, dapat diolah dengan alami, berbahan organik, serta mempunyai tingkat kekuatan, dan kekakuan yang relatif tinggi. Adapun keuntungan lainnya yaitu kualitas dari serat dapat divariasikan, mudah didapatkan, dan dapat di *recycle* [4]. Serat yang dipertimbangkan oleh penulis untuk dapat menjadi alternatif penguat material biokomposit dalam penelitian ini adalah serat daun nanas.

Penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh variasi fraksi volume biokomposit serat daun nanas dengan pencampuran resin *epoxy-polyester* terhadap kekuatan tarik.
2. Mengetahui pengaruh variasi fraksi volume biokomposit serat daun nanas dengan pencampuran resin *epoxy-polyester* terhadap densitas.
3. Mengetahui morfologi dari biokomposit serat daun nanas dan resin *epoxy-polyester* dengan variasi fraksi volume.

Beberapa rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini terdiri dari:

1. Bagaimana pengaruh variasi fraksi volume biokomposit serat daun nanas dengan pencampuran resin *epoxy-polyester* terhadap kekuatan tarik?
2. Bagaimana pengaruh variasi fraksi volume biokomposit serat daun nanas dengan pencampuran resin *epoxy-polyester* terhadap densitas?
3. Bagaimana morfologi dari biokomposit serat daun nanas dan resin *epoxy polyester* dengan variasi fraksi volume?

Batasan masalah pada penelitian ini meliputi temperatur ruangan dan tekanan dianggap homogen.

## 2. Dasar Teori

### 2.1. Komposit

Material komposit terbentuk dari gabungan dua material atau lebih yang mempunyai sifat mekanik lebih kuat dibandingkan material lainnya. Komponen utama material komposit adalah penguat (*reinforcement material*) dan matriks (*filling material*). Bahan penguat seringkali berbentuk serat panjang, seperti serat alami (misalnya sabut kelapa,

sutra, rami) dan serat sintetis (misalnya *fiberglass*, karbon, nilon, aluminium). Bahan matriks merupakan komponen yang lembut, elastis dan tahan lama.

### 2.2. Biokomposit

Biokomposit adalah jenis material komposit yang terdiri dari campuran minimal dua komponen, di mana salah satu di antaranya adalah komponen organik atau biologis. Komponen organik ini biasanya diperoleh dari sumber alam seperti serat tumbuhan, serat kayu, atau bahan biopolimer seperti pati atau protein. Komponen organik ini kemudian digabungkan dengan bahan penguat atau bahan lain, sehingga membentuk suatu material komposit dengan sifat-sifat yang khusus dan menguntungkan.

### 2.3. Matriks

Matriks, sebagai elemen dalam biokomposit, memiliki peran penting dalam mengikat serat tanpa berinteraksi secara kimia dengan serat tersebut. Matriks berperan sebagai perekat utama dalam komponen material dan salah satu jenis matriks yang paling sering digunakan dalam biokomposit adalah polimer.

### 2.4. Resin Epoxy

Resin *epoxy* adalah jenis resin sintetis yang dikenal karena kekuatan dan daya rekatnya yang tinggi setelah mengalami polimerisasi. Resin *epoxy* dibuat melalui reaksi antara dua komponen utama: resin epoksi dan pengeras (*hardener*). Saat kedua komponen ini dicampurkan bersama, mereka bereaksi secara kimia untuk membentuk polimer padat dengan berbagai sifat yang bergantung pada formulasi dan penggunaan tertentu. Keunggulan resin *epoxy* dalam biokomposit adalah kekuatannya yang tinggi, daya rekat yang kuat, dan kemampuan untuk menghasilkan material yang ringan namun sangat tahan terhadap tekanan, tarik, dan lentur. Oleh karena itu, komposit *epoxy* sering digunakan dalam industri otomotif, *aerospace*, konstruksi, dan manufaktur lainnya untuk berbagai aplikasi, seperti pembuatan bagian struktural pesawat terbang, kendaraan luar angkasa, hingga kendaraan perlombaan.



Gambar 1. Epoxy

### 2.5. Resin Polyester

Jenis resin cair ini memiliki tingkat kekentalan yang cukup rendah dibandingkan resin lainnya. Resin polyester banyak digunakan untuk konstruksi sebagai bahan biokomposit, dll. Selain itu

resin polyester mempunyai tingkat ketahanan yang baik dan harga yang jauh lebih terjangkau dari resin epoxy [6].

### 2.6. Serat Daun Nanas

*Pineapple-leaf fibres* atau serat daun nanas diperoleh dari daun-daun tanaman nanas yang banyak dibudidayakan di Indonesia, terutama pulau Jawa dan Sumatera. Dalam proses budidayanya, tanaman ini akan dibongkar setiap 2 atau 3 kali panen kemudian diganti dengan tanaman baru sehingga banyak menghasilkan limbah yang cukup potensial jika dimanfaatkan.

### 2.7. Fraksi Volume

Perbandingan antara serat dan matrik dalam komposit dapat ditunjukkan dalam bentuk fraksi volume atau berat serat. Fraksi volume atau berat serat menjadi salah satu faktor penting yang menentukan karakteristik mekanik pada komposit. Untuk mencapai tingkat keakuratan dalam perhitungan yang lebih baik serta lebih mudah, fraksi volume dapat digunakan untuk menentukan formulasi komposit.

### 2.8. Uji Tarik

Uji tarik bertujuan untuk mengetahui nilai kekuatan tarik, tegangan, dan regangan dari suatu material. Dalam penelitian ini dilakukan pengamatan terhadap peningkatan beban dan pertambahan panjang secara terus menerus serta menggunakan ASTM D 3039.



Gambar 2. Proses Uji Tarik

### 2.9. Uji Densitas

Uji densitas bertujuan untuk membantu menentukan karakteristik suatu material apakah akan mengapung atau tenggelam pada fluida. Pengujian dan perhitungan densitas pada penelitian ini mengacu pada standar ASTM D 792-08.

### 2.10. Pengamatan Foto Mikro

Pengamatan foto mikro dilakukan untuk mengamati morfologi permukaan dari suatu bahan atau material. Pengamatan melalui foto mikro dapat menghasilkan gambar permukaan komposit sesuai dengan perbesaran yang diinginkan.

## 3. Metode-penelitian

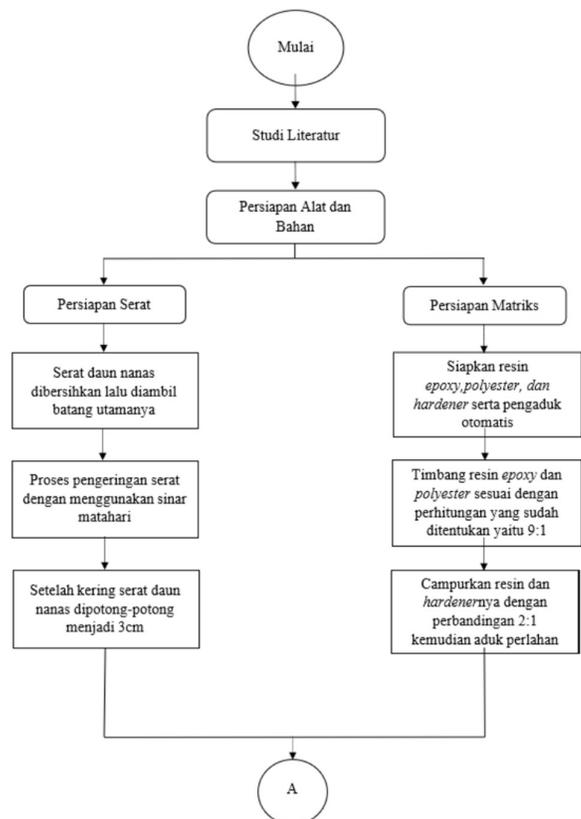
### 3.1. Alat

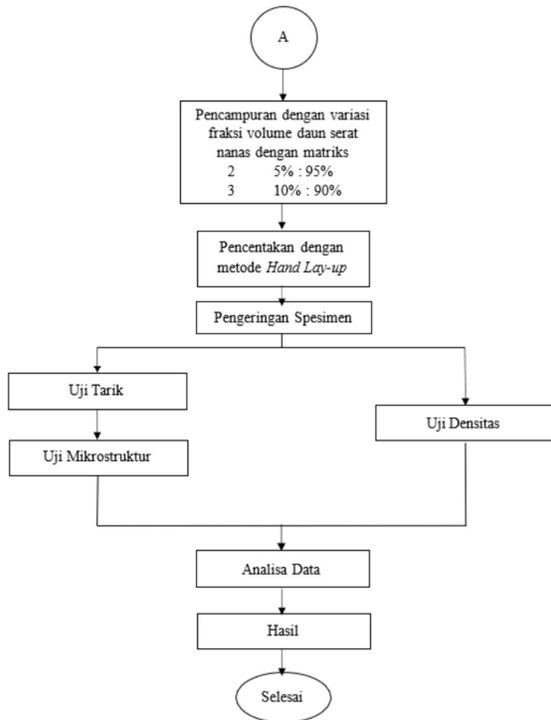
1. Alat uji : Tensilon RTG-1250, timbangan Uji Densitas, dan Mikroskop Nikon Eclipse LV150.
2. Alat cetak : Cetakan berbentuk segi empat dengan bahan akrilik yang dipilih karena epoxy dan polyester tidak menempel pada akrilik, permukaan yang datar, dan tembus cahaya.
3. Alat ukur : Penggaris, timbangan digital, gelas ukur.
4. Alat bantu : Pengaduk elektrik, gunting, sendok.

### 3.2. Bahan

1. Matrik : Epoxy sikadur 52-id & Polyester yukalac 157 BQTN.
2. Penguat : Daun serat nanas.
3. Aquades
4. Aceton
5. Lilin atau malam

### 3.3. Diagram alir penelitian

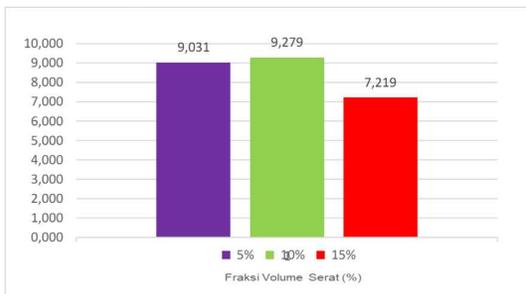




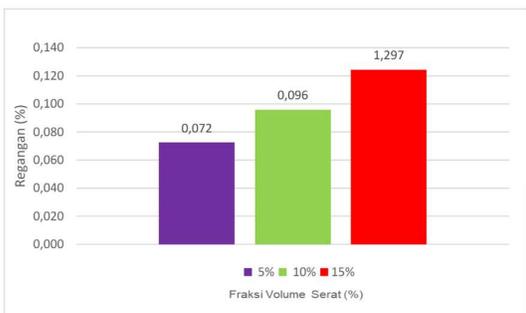
Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

#### 4. Hasil dan Pembahasan

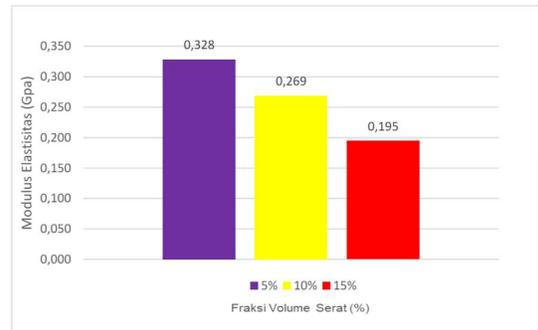
##### 4.1. Hasil Uji Tarik



Gambar 4. Diagram Tegangan Tarik



Gambar 5. Diagram Regangan Tarik

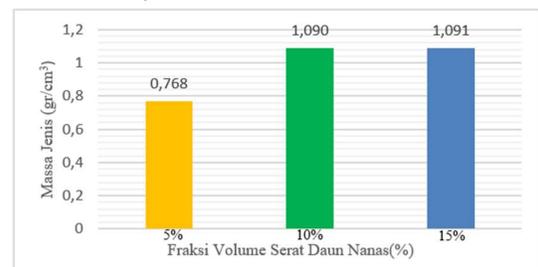


Gambar 6. Diagram Modulus Elastisitas

Berdasarkan data yang didapatkan pada gambar 4, 5, dan 6 menunjukkan nilai terkecil diperoleh pada variasi 15% serat daun nanas sebesar 7,219 MPa sedangkan nilai tegangan tarik terbesar diperoleh pada variasi 10% serat daun nanas sebesar 9,279 MPa. Pada regangan tarik nilai terkecil diperoleh di variasi 5% serat daun nanas sebesar 0,072% sedangkan nilai terbesar pada penambahan serat daun nanas terjadi di variasi 15% serat daun nanas sebesar 1,297%. Pada modulus elastisitas nilai terkecil diperoleh pada variasi 15% serat daun nanas sebesar 0,679 GPa sedangkan nilai terbesar diperoleh di variasi 5% serat daun nanas sebesar 0,328 GPa .

Kesimpulan dari hasil uji tarik ini menunjukkan bahwa terdapat peningkatan regangan pada komposit seiring dengan penambahan serat daun nanas dalam komposit tersebut. Selain itu, juga ditemukan bahwa nilai modulus elastisitas mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya jumlah serat daun nanas di dalam komposit. Hal ini mengindikasikan bahwa serat daun nanas berkontribusi terhadap peningkatan fleksibilitas namun mengurangi kekakuan komposit.

##### 4.2. Hasil Uji Densitas



Gambar 7. Diagram Densitas

Berdasarkan diagram pada gambar 7, nilai densitas terbesar didapatkan pada variasi 15% serat sebesar 1,091 gr/cm<sup>3</sup>. Peningkatan nilai densitas terjadi pada setiap penambahan variasi serat daun nanas. Nilai densitas pada variasi penambahan 5% serat daun nanas mendapatkan nilai paling kecil sebesar 0,768 gr/cm<sup>3</sup>, pada 10% didapatkan nilai sebesar 1,090 gr/cm<sup>3</sup>. Kenaikan nilai densitas disebabkan oleh penambahan serat daun nanas yang

membuat rongga dalam material berkurang sehingga meningkatkan nilai densitas.

#### 4.3. Pengamatan Foto Mikro

Pengamatan foto mikro dilakukan untuk mengamati morfologi pada biokomposit berpenguat serat daun nanas. Pengamatan ini dilakukan pada Laboratorium Metalurgi Kampus Teknik Mesin Universitas Udayana dengan menggunakan mikroskop Nikon LV150 NL. Adapun hasil pengamatan foto mikro yang dilakukan sebagai berikut.



Gambar 8. Foto Mikro x 50 Fraksi Volume 5% Serat Daun Nanas



Gambar 9. Foto Mikro x 50 Fraksi Volume 10% Serat Daun Nanas



Gambar 10. Foto Mikro x 50 Fraksi Volume 15% Serat Daun Nanas

Berdasarkan hasil foto mikro diatas didapatkan bahwa serat acak yang ada pada komposit serat daun nanas terjadi pengumpulan serat pada suatu titik tertentu di variasi fraksi serat 15% sehingga membuat pengikatan matriks yang tidak optimal.

#### 5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh penulis mengenai pengaruh variasi fraksi volume biokomposit *epoxy-polyester* terhadap kekuatan tarik dan densitas, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan:

1. Pada pengujian tarik, didapatkan nilai rata-rata tegangan tarik mengalami kenaikan paling besar pada variasi fraksi 10% serat daun nanas sebesar 9,279 MPa dan mendapatkan nilai terkecil pada fraksi 15% serat daun nanas sebesar 7,219 Mpa. Nilai rata-rata regangan terus mengalami kenaikan seiring bertambah serat pada fraksi volume, nilai terendah terdapat pada variasi fraksi 5% serat daun nanas sebesar 0,072% sedangkan nilai terbesar terdapat pada variasi fraksi 15% serat daun nanas sebesar 1,297%. Pada modulus elastisitas nilai terkecil diperoleh pada variasi fraksi 15% serat daun nanas sebesar 0,679 GPa sedangkan nilai terbesar diperoleh di variasi 5% serat daun nanas sebesar 0,328 GPa.
2. Pada pengujian densitas, nilai terkecil terdapat pada variasi fraksi 5% serat daun nanas sebesar 0,768 gr/cm<sup>3</sup> dan nilai densitas terbesar didapatkan pada variasi fraksi 15% serat daun nanas sebesar 1,091 gr/cm<sup>3</sup>, sementara pada variasi fraksi 10% serat daun nanas didapatkan nilai sebesar 1,090 gr/cm<sup>3</sup>, semakin bertambahnya variasi fraksi maka nilai densitas yang didapat semakin rendah.
3. Pada pengujian foto mikro didapatkan bahwa fraksi volume 15% serat daun nanas mendapatkan hasil yang lebih baik dibanding fraksi volume 5% dan 10%.

#### Daftar Pustaka

- [1] Hadi, T.S., Jokosisworo, S. and Manik, P., 2016. *Analisa teknis penggunaan serat daun nanas sebagai alternatif bahan komposit pembuatan kulit kapal ditinjau dari kekuatan tarik, bending dan impact*. Jurnal Teknik Perkapalan, 4(1).
- [2] Hidayat, P., 2008. *Teknologi pemanfaatan serat daun nanas sebagai alternatif bahan baku tekstil*. Teknoin, 13(2).
- [3] Kartini, R., Darmasetiawan, H., Karo, A.K. and Sudirman, S., 2018. *Pembuatan Dan Karakterisasi Komposit Polimer Berpenguat Serat Alam*. Jurnal Sains Materi Indonesia, 3(3), pp.30-38.

[4] Lokantara, I.P., Suardana, N.P.G. and Karohika, I.M.G., 2009. *Efek Fraksi Volume Serat dan Penyerapan Air Tawar Terhadap Kekuatan Bending Komposit Tapis Kelapa/Polyester*. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CakraM Vol, 3(2), pp.138-143.

[5] Mainnah, M., 2017. *Sifat Fisik dan Mekanik Kombinasi Serat Daun Nanas (Ananas sp.) dan Kitosan untuk Material Alat Penangkapan Ikan (Doctoral dissertation, Bogor Agricultural University (IPB))*.

[6] Ningrum, L.Y., 2017. *Potensi Serat Daun Nanas Sebagai Alternatif Bahan Komposit Pengganti Fiberglass Pada Pembuatan Lambung Kapal (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember)*.

[7] Surya, I., 2016. *Sifat Mekanis Komposit Serat Acak Limbah Sabut Kelapa Bermatriks Polyester Resin*. JURNAL TEKNIK MESIN, 2(1).

	<p><b>Dewa Ngakan Ketut Putra Negara</b>                  menerima gelar BSc di bidang Teknik Mesin dari Universitas Brawijaya pada tahun 1995, MSc di bidang Teknik dan Manajemen Sistem Manufaktur dari University of Bradford pada tahun 2001, dan Dr. dari Program Doktor Ilmu Teknik, Fakultas Teknik, Universitas Udayana pada tahun 2020. Bidang penelitiannya adalah material adsorben untuk penyimpanan dan pemurnian gas.</p>
--	---

	<p><b>Schubert Ariell P.S. Siburian</b> 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>	

	<p><b>Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati</b> 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>
---	---

# ANALISA MODIFIKASI MODEL *BODY* KENDARAAN OBHI-MEC UNUD TERHADAP KOEFISIEN DRAG MENGGUNAKAN ANSYS FLUENT

Endy Josua Simanjuntak, I Made Gatot Karohika, I Made Widiyarta  
*Program Studi Teknik mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali*

## Abstrak

Dalam perkembangan teknologi transportasi, terdapat upaya yang dilakukan dalam meningkatkan efisiensi kendaraan dengan mengoptimalkan aspek aerodinamika. Dalam bidang otomotif, aerodinamika memiliki peran yang cukup besar dalam menentukan desain *body* kendaraan. Penelitian dilakukan dengan simulasi dan analisis terhadap model *body* kendaraan *bio-hybrid* Obhi-Mec Unud Menggunakan ANSYS Fluent untuk melihat pengaruh dari modifikasi *body* kendaraan terhadap koefisien *drag*, koefisien *lift*, dan bentuk pola aliran udara pada permukaan *body* kendaraan ini. Desain sebelum modifikasi memberikan nilai koefisien *drag* yang lebih kecil, sedangkan desain setelah modifikasi memberikan nilai koefisien *lift* yang lebih kecil. Peningkatan kecepatan kendaraan akan menaikkan nilai koefisien *drag*. Namun peningkatan kecepatan kendaraan akan menghasilkan pola aliran udara yang berbeda pada tiap desain *body*.

Kata kunci: Koefisien *drag*, Koefisien *lift*, Pola Aliran Udara, Aerodinamika, *Computational Fluid Dynamic*

## Abstract

*In the development of a transportation technology, efforts have been made to increase vehicle efficiency by optimizing aerodynamic aspects. In the automotive field, aerodynamics has a huge role in determining vehicle body design. This research was carried out by simulating and analyzing the Obhi-Mec Unud bio-hybrid vehicle body model using ANSYS Fluent to see the effect of vehicle body modifications on the drag coefficient, lift coefficient, and the shape of the air flow pattern on the surface of this vehicle body. The design before modification provides a smaller drag coefficient value, while the design after modification provides a smaller lift coefficient value. Increasing vehicle speed will increase the drag coefficient value. However, increasing vehicle speed will produce different airflow patterns in each body design.*

Keywords: *Drag Coefficient, Lift Coefficient, Airflow Patterns, Aerodynamics, Computational Fluid Dynamics*

## 1. Pendahuluan

Aerodinamika berasal dari dua kata, yaitu *aero* yang berarti udara, dan *dinamika* yang mengacu pada pergerakan. Dengan demikian, aerodinamika merujuk pada aliran udara yang bergerak dan dapat mempengaruhi pergerakan benda dengan kecepatan tertentu. Dalam konteks otomotif, aerodinamika memainkan peran penting dalam merancang bentuk bodi kendaraan.

*Body* kendaraan adalah salah satu komponen krusial selain mesin dan rangka kendaraan, karena memengaruhi kecepatan kendaraan dan secara tidak langsung berpengaruh pada efisiensi energi. *Body* ini terdiri dari pelat atau komponen yang menutupi rangka kendaraan, memberikan perlindungan terhadap penumpang dan muatan di dalamnya. Sebuah *body* yang baik harus memiliki bentuk aerodinamis untuk mengurangi gesekan yang memperlambat kendaraan.

Pengaruh *drag* aerodinamika pada kendaraan dipengaruhi oleh geometri bagian depan mobil, kaca depan, atap, dan bagian belakang yang telah ditetapkan melalui berbagai model dengan menggunakan pengujian dan perhitungan numerik. Saat ini, penentuan *drag* aerodinamika pada mobil dapat dilakukan dengan mudah melalui proses eksperimental maupun komputasi. Menurut penelitian yang telah dilakukan dengan bentuk mobil SUV, menghasilkan koefisien *drag* sebesar 0,469 dan koefisien *lift* sebesar 0,199 pada kecepatan 27 m/s. Penelitian lain yang dilakukan terhadap mobil barang. [1]

bagi tertutup yang sudah dimodifikasi dengan pengaruh angin, menghasilkan koefisien *drag* sebesar 0,487 pada kecepatan 40 km/jam. [2]

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, koefisien *drag* yang dihasilkan oleh model *body* kendaraan Obhi-Mec Unud sebesar 0,45 dan koefisien *lift* yang dihasilkan sebesar 0,1. Jika dibandingkan dengan penelitian yang sudah ada, perlu dilakukan pengujian ulang dan analisis lebih lanjut dengan menggunakan perangkat lunak simulasi *Ansys fluent CFD* mengenai desain *body* kendaraan Obhi-Mec Unud yang sudah ada dan yang sudah dimodifikasi dalam upaya pengoptimalan. [3]

Tujuan Penelitian ini adalah mengetahui pengaruh modifikasi *body* terhadap koefisien *drag* dan pola aliran kendaraan..

## 2. Dasar Teori

Aerodinamika adalah gaya-gaya yang timbul pada sebuah benda akibat adanya aliran fluida yang melaluinya. Aliran fluida ini menyebabkan benda tersebut mengalami gaya tekan dan gaya geser. Gabungan dari gaya-gaya ini menghasilkan gaya aerodinamika total. Banyak permasalahan dalam aerodinamika tidak dapat diselesaikan hanya dengan perhitungan analitis atau matematis, melainkan memerlukan eksperimen untuk mendukung teori-teori yang ada dan membantu menyelesaikan masalah yang kompleks. Hasil dari eksperimen ini memberikan kesimpulan yang berharga untuk memecahkan permasalahan dalam aerodinamika. Aerodinamika adalah gaya-gaya yang timbul pada sebuah benda akibat adanya aliran fluida yang melaluinya. Aliran fluida ini menyebabkan benda tersebut mengalami gaya tekan dan gaya geser. Gabungan dari gaya-gaya ini menghasilkan gaya aerodinamika total. Banyak permasalahan dalam aerodinamika tidak dapat

diselesaikan hanya dengan perhitungan analitis atau matematis, melainkan memerlukan eksperimen untuk mendukung teori-teori yang ada dan membantu menyelesaikan masalah yang kompleks. Hasil dari eksperimen ini memberikan kesimpulan yang berharga untuk memecahkan permasalahan dalam aerodinamika. Proses perancangan bentuk body kendaraan pada dasarnya dapat dibagi menjadi lima tahap, yaitu basic body, basic shape, basic model, styling, dan tahap akhir yaitu production car. Ahli aerodinamika melakukan analisis terhadap bentuk body kendaraan dengan melakukan riset dan pengujian terhadap berbagai komponen body kendaraan serta dampaknya terhadap beban angin.

Separasi aliran yang terjadi di belakang kendaraan dapat menghasilkan daerah wake yang mengakibatkan terjadinya peningkatan drag (hambatan). Semakin cepat separasi aliran terjadi, daerah wake akan semakin luas yang pada akhirnya meningkatkan drag secara signifikan. Secara umum, teknik pengontrolan aliran fluida pada benda tumpul (bluff body) dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis. Pertama, metode pengontrolan aktif mengatur aliran fluida dengan menyuntikkan energi tambahan dari luar, seperti menggunakan hembusan jet untuk mengontrol aliran di sekitar body tumpul. Sedangkan, metode kedua adalah pengontrolan pasif yang memodifikasi aliran fluida dengan cara mengubah bentuk *body* tumpul atau menambahkan elemen tambahan pada body tumpul tanpa menyuntikkan energi tambahan dari luar. Metode pengontrolan aktif memerlukan peralatan kompleks untuk mensuplai energi dari luar kepada aliran. Oleh karena itu, metode pengontrolan pasif lebih mudah untuk diaplikasikan. [4]

Mobil listrik Bio-hybrid Obhi-Mec Unud merupakan kendaraan listrik *bio-hybrid* dengan sumber energi penggerak utamanya merupakan motor listrik serta dilengkapi dengan penggerak tambahan berupa pedal yang dapat dikayuh oleh pengemudi. Kendaraan ini merupakan kendaraan listrik *bio-hybrid* generasi pertama yang telah dikembangkan oleh Fakultas Teknik Universitas Udayana. Obhi-Mec didesain untuk kapasitas 2-3 orang dengan kecepatan konstan maksimal diperkirakan sebesar 30 km/jam. Kendaraan ini menggunakan dinamo dengan daya 2000 W dan baterai sebagai sumber dayanya.



Gambar 2.1 Kendaraan Listrik *Bio-Hybrid* Obhi-Mec Unud

*Computational Fluid Dynamics* (CFD) adalah metode untuk menganalisis sistem yang melibatkan aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia, dan fenomena fisik lainnya melalui simulasi komputer. Saat ini, CFD telah menjadi pendekatan utama dalam menyelesaikan permasalahan teknik, khususnya dalam bidang mekanika fluida. Secara konvensional, penyelesaian permasalahan

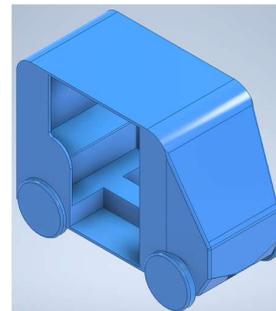
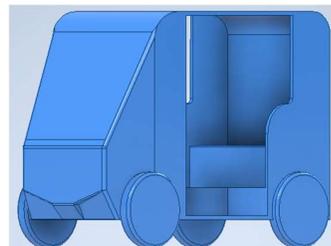
dalam mekanika fluida dan perpindahan panas dapat dilakukan dengan dua pendekatan: pendekatan eksperimental dan pendekatan analitis. Namun, dengan semakin kompleksnya permasalahan yang muncul, pendekatan konvensional seringkali tidak cukup efisien dalam hal waktu, biaya, dan kemudahan. Secara konvensional, penyelesaian permasalahan dalam mekanika fluida dan perpindahan panas dapat dilakukan dengan dua pendekatan: pendekatan eksperimental dan pendekatan analitis. Namun, dengan semakin kompleksnya permasalahan yang muncul, pendekatan konvensional seringkali tidak cukup efisien dalam hal waktu, biaya, dan kemudahan. Karena hal ini, CFD menjadi salah satu pendekatan yang digunakan untuk validasi hasil yang didapatkan dari pendekatan analitis dan eksperimental.

### 3. Metode Penelitian

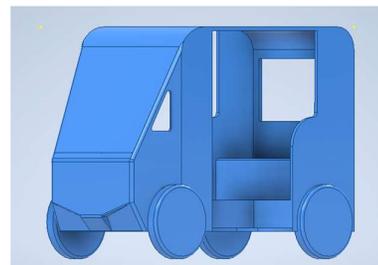
Simulasi dilakukan dengan langkah berikut :

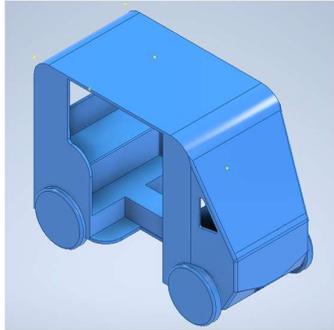
1. *Preprocessing*
2. *Processing*
3. *Postprocessing*

Proses pembuatan model *body* Obhi-Mec Unud dilakukan menggunakan *software* Inventor dengan bentuk model seperti berikut:



Gambar 3.1 Desain Sebelum Modifikasi

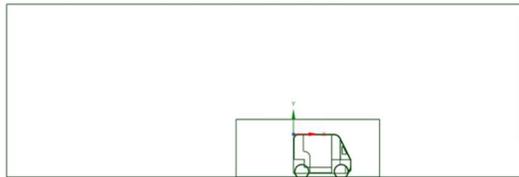




Gambar 3.2 Desain Setelah Modifikasi

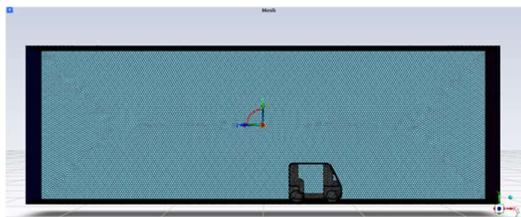
Setelah pembuatan model dilanjutkan dengan pembuatan domain pada *software* simulasi Ansys Fluent.

Dimensi domain yang digunakan adalah 3L untuk panjang depan, 5L untuk panjang belakang, dan 3L untuk panjang *domain* atas, dimana L adalah panjang model.



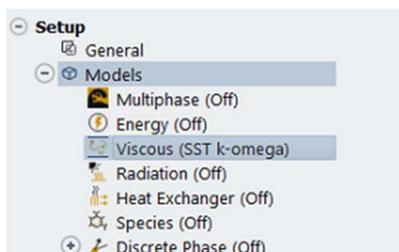
Gambar 3.3 Domain Pemodelan Kendaraan

Setelah domain sudah dibuat, proses selanjutnya adalah meshing. Pada proses ini bidang atau ruang diisi oleh fluida dibagi menjadi sel-sel kecil yang dikenal sebagai meshing. Metode yang digunakan dalam melakukan meshing pada simulasi ini adalah metode poly-hexcore.



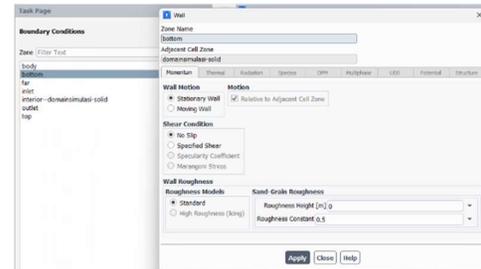
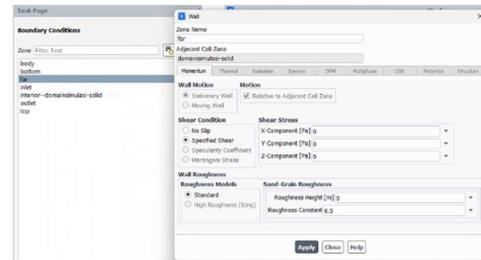
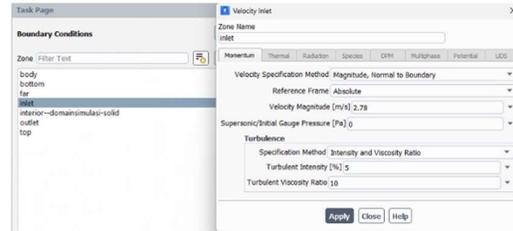
Gambar 3.4 Meshing Pada Kendaraan Model

Meshing yang sudah selesai diproses dapat dilanjutkan ke proses set-up untuk dilakukan simulasi. Penentuan model yang digunakan pada simulasi ini adalah K-omega.



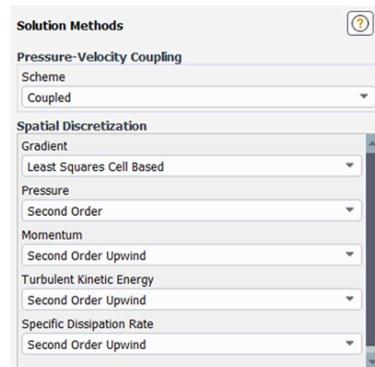
Gambar 3.5 Set-up Model

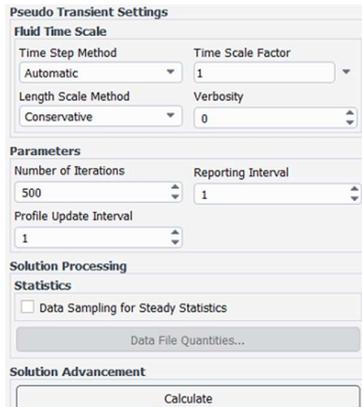
Didalam set-up ini terdapat beberapa kondisi batas yang ditentukan agar simulasi berjalan dengan kondisi yang sudah ditentukan.



Gambar 3.6 Pengaturan Kondisi Batas

Setelah mengatur kondisi batas, untuk menjalankan set-up agar sesuai dengan parameter yang sudah ditentukan. Pemilihan *scheme* untuk analisis ini adalah *Coupled* dengan model turbulensi dan intensitas *Second Order Upwind*.





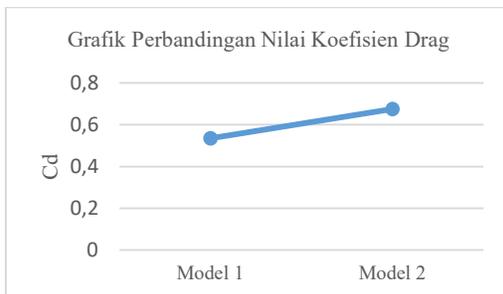
**Gambar 3.7 Pengaturan Untuk Menjalankan Simulasi**

Lalu proses simulasi dijalankan dengan kondisi dan batasan yang sudah diatur sebelumnya. Jika kriteria konvergensi tercapai sesuai dengan yang sudah ditentukan, maka simulasi dapat dilanjutkan ke tahap selanjutnya yaitu *postprocessing*. Pada tahap ini menampilkan hasil serta analisa yang diperoleh, dan akan dituliskan dalam pembahasan.

Jika data sudah didapat, selanjutnya dimasukan kedalam tabel kemudian dibuat grafik hubungan dan ditarik kesimpulannya.

No.	Nama	Hasil Simulasi	
1.	Desain 1	Gaya Hambat	15,78312
		Koefisien Hambat	0,534813
2.	Desain 2	Gaya Hambat	19,98416
		Koefisien Hambat	0,674737

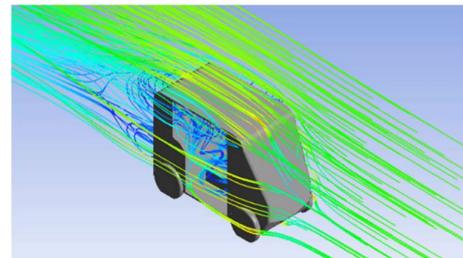
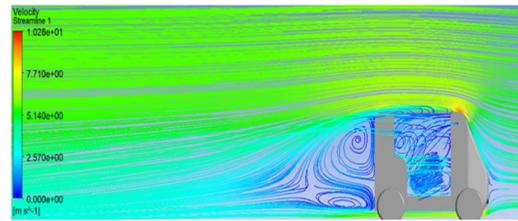
Pada grafik diatas menunjukkan nilai koefisien hambatan pada desain 1 lebih kecil dibandingkan dengan desain 2. Hal ini membuktikan adanya pengaruh perubahan model *body* terhadap gaya hambatan dan koefisien hambatan pada kendaraan.



**Gambar 3.8 Grafik Perbandingan Nilai Koefisien Drag**

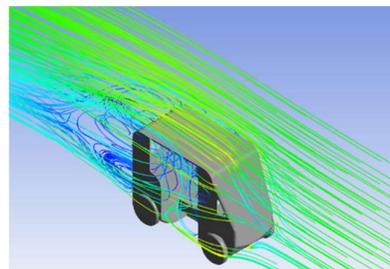
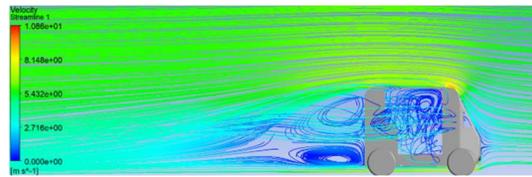
Perbedaan nilai koefisien drag pada kedua desain disebabkan oleh adanya modifikasi pada *body* kendaraan. Hal ini disebabkan karena adanya lubang tambahan pada bagian depan dan bagian belakang kendaraan yang menyebabkan separasi aliran terjadi lebih cepat, sehingga

dapat menyebabkan bertambahnya daerah *wake* yang dapat meningkatkan gaya hambat kendaraan.



**Gambar 3.9 Pola Aliran Udara Pada Desain 1**

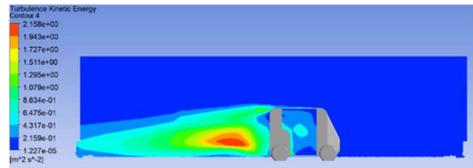
Pada desain ini, pola aliran yang dihasilkan pada desain 1 terlihat cukup beraturan dan mudah dipahami.



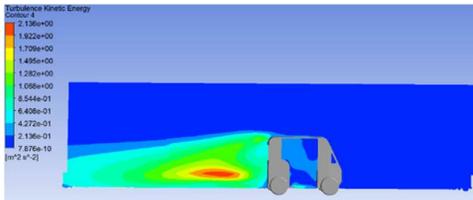
**Gambar 3.10 Pola Aliran Udara Pada Desain 2**

Pada desain ini, desain 2 terlihat menghasilkan pola aliran yang lebih rumit dan tidak beraturan. Hal ini disebabkan oleh lubang yang terdapat pada bagian depan dan belakang kendaraan yang menghasilkan titik separasi aliran tambahan sehingga membuat pola aliran yang dihasilkan tidak beraturan jika dibandingkan dengan desain 1.

Selain pola aliran, daerah turbulensi dalam aliran udara di sekitar kendaraan juga memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai gaya hambatan dan koefisien hambatan kendaraan. Hubungan antara intensitas turbulensi dengan gaya hambatan pada sebuah benda dapat dijelaskan sebagai berikut: ketika intensitas turbulensi meningkat, gaya hambatan yang dialami oleh benda juga cenderung meningkat. Hal ini disebabkan oleh peningkatan olakan yang terbentuk di belakang benda tersebut saat intensitas aliran meningkat pada suatu titik tertentu.



Gambar 3.11 Daerah Turbulensi Pada Desain 1



Gambar 3.12 Daerah Turbulensi Pada Desain 2

Dapat kita lihat area *wake* yang dihasilkan oleh kedua desain cukup berbeda. Pada desain 1 daerah turbulensi yang terbentuk dibelakang kendaraan lebih kecil dibandingkan dengan desain 2. Hal ini membuktikan bahwa nilai gaya hambat dan koefisien hambat pada desain 1 lebih kecil.

#### 4. Simpulan

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan dengan modifikasi model *body* pada kendaraan Obhi-Mec Unud, maka didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Modifikasi yang dilakukan pada *body* kendaraan Obhi-Mec Unud menghasilkan koefisien hambat yang lebih tinggi dibandingkan dengan desain awal.
2. Modifikasi yang dilakukan membuat kedua desain menghasilkan pola aliran yang berbeda.

#### Daftar Pustaka

- [1] Anassi, Aam Masgroana, and I. Nyoman Sutantra. "Analisis Perbandingan Karakteristik Traksi dan Tenaga Toyota Rush, Mitsubishi Xpander, dan Daihatsu Terios." *Jurnal Teknik ITS* 9.2 (2021): E174-E179.
- [2] Alfian, Shova. "Analisis CFD Penyempumaan Penggunaan Pengarah Angin Terhadap Pengurangan Gaya Drag Pada Mobil Barang Bak Tertutup." *Barometer* 8.1 (2023): 42-49.
- [3] Robert, "Analisis Pengaruh Sudut *Leading Edge*, *Trailing Edge* dan Kecepatan Terhadap Koefisien Drag dan *Lift* Kendaraan Obhi-Mec Unud Menggunakan CFD" *Analisis Pengaruh Sudut Leading Edge, Trailing Edge, dan Kecepatan Terhadap Koefisien Drag dan Lift Kendaraan Obhi-Mec Unud Menggunakan CFD, 2023*.
- [4] Tarakka, Rustan, et al. "Kajian Aerodinamika Pada Model Kendaraan dengan Penerapan Kontrol Aktif Suction." *METAL: Jurnal Sistem Mekanik dan Termal* 5.1 (2021): 38-43.



Endy Josua Simanjuntak

Menyelesaikan studi program sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2019 sampai 2024

Bidang penelitian yang diminati yaitu Konversi Energi.

# Karakteristik Kekerasan Coran Material Al-7Si Akibat Variasi Temperatur Tuang Dan Tebal Saluran Pada Pengecoran Sand Casting

Putu Andika Pramana Putra, I Ketut Gede Sugita, dan Ni Made Dwidiani  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit, Jimbaran Bali

## Abstrak

Paduan Al-Si merupakan paduan berbasis aluminium yang sangat vital karena memiliki karakteristik pengecoran yang unggul, kemampuan pengelasan yang baik, kedapn tekanan yang tinggi, dan ketahanan terhadap korosi. Paduan Al-7Si sering digunakan dalam industri maritim, elektrikal, otomotif, dan penerbangan, khususnya untuk komponen seperti blok dan kepala silinder serta cetakan badan mesin lainnya. Temperatur tuang memainkan peran penting dalam memastikan material dapat mengisi cetakan dengan sempurna dan mencegah cacat seperti porositas atau gelembung gas. Tebal saluran juga mempengaruhi kecepatan pengisian cetakan dan proses pendinginan material cair. Pengaturan yang optimal dari kedua parameter ini dapat memengaruhi sifat-sifat mekanis dari material coran. Maka, tujuan dari penelitian ini adalah untuk menginvestigasi pengaruh variasi temperatur pengecoran dan variasi tebal saluran terhadap kekerasan material Al-7Si. Penelitian ini melibatkan penggunaan temperatur pengecoran yang bervariasi antara 750°C, 850°C, dan 950°C, serta variasi tebal saluran dari 1,5 mm hingga 5 mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekerasan tertinggi terjadi pada temperatur pengecoran 750°C, sedangkan kekerasan terendah terjadi pada temperatur pengecoran 950°C.

*Kata Kunci : Al-7Si, Temperatur tuang, tebal saluran,kekerasan.*

## Abstract

*The Al-Si alloy is a vital aluminum-based alloy due to its excellent casting characteristics, good weldability, high pressure tightness, and corrosion resistance. Al-7Si alloy is frequently used in the maritime, electrical, automotive, and aerospace industries, especially for components such as engine blocks and cylinder heads as well as other machine body castings. The pouring temperature plays a crucial role in ensuring that the material fills the mold perfectly and prevents defects such as porosity or gas bubbles. The thickness of the channel also affects the filling speed of the mold and the cooling process of the liquid material. Optimal regulation of these two parameters can influence the mechanical properties of the cast material. Therefore, the aim of this study is to investigate the effect of casting temperature variation and channel thickness variation on the hardness of Al-7Si material. This research involves the use of varying casting temperatures between 750°C, 850°C, and 950°C, as well as channel thickness variations from 1.5 mm to 5 mm. The results show that the highest hardness occurs at a casting temperature of 750°C, while the lowest hardness occurs at a casting temperature of 950°C.*

*Keywords: Al-7Si, pouring temperature, channel thickness, hardness.*

## 1. Pendahuluan

Aluminium adalah salah satu logam non-ferrous yang sangat diminati dalam industri. Keunggulan utama aluminium meliputi bobot yang ringan, ketahanan terhadap korosi, serta kemampuan yang baik sebagai penghantar panas dan listrik. Oleh karena itu, aluminium sering dipilih untuk pembuatan alat rumah tangga dan komponen mesin yang membutuhkan bahan ringan, seperti puli, impeller turbin, velg, piston, dan berbagai komponen lainnya.

Banyak digunakan sebagai paduan daripada bentuk murni, aluminium tetap mempertahankan sifat ringannya dan karakteristik mekanisnya yang dapat diperbaiki dengan penambahan unsur lainnya. Beberapa unsur yang sering ditambahkan pada aluminium sebagai paduan meliputi tembaga, mangan, silikon, magnesium, nikel, dan lain-lain [1].

Penggunaan aluminium yang luas dalam industri manufaktur terkait dengan teknologi pengecoran. Dalam proses ini, aluminium dilelehkan dan dilelehkan ke dalam cetakan yang cocok dengan

bentuk yang diinginkan untuk membentuk material logam [2].

Salah satu metode pengecoran yang sering digunakan adalah pengecoran dengan cetakan pasir. Dalam metode ini, logam cair dituangkan ke dalam cetakan yang terdiri dari pasir yang sudah dibentuk sebelumnya. Teknik ini banyak digemari karena mampu membentuk logam dengan titik lebur tinggi dan menghasilkan hasil coran dengan berbagai ukuran [3]. Pasir tersebut dapat digunakan kembali menjadi cetakan baru. Pengecoran ini mempunyai beberapa kelebihan, seperti biaya rendah, kemudahan dalam proses pembuatannya, serta kemampuan untuk menghasilkan benda kerja dengan bentuk rumit dan ukuran besar.

Paduan Al-Si merupakan paduan paling penting berbasis Al karena karakteristik cetaknya yang sangat baik, kemampuan untuk dilas, kedapn tekanan, dan ketahanan terhadap korosi. Paduan Al-7Si banyak digunakan dalam industri maritim, elektrikal, otomotif, dan penerbangan di mana mereka

digunakan untuk blok dan kepala silinder serta cetakan badan mesin lainnya [4].

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Arjunanda et al., 2022 [5], dengan variasi temperatur tuang antara 670°C, 720°C, dan 750°C yang bertujuan untuk mengidentifikasi pengaruhnya terhadap nilai kekerasan. Hasil studi ini menunjukkan bahwa pada temperatur 670°C, rata-rata nilai kekerasan adalah 84,70 HVN. Kemudian, pada temperatur 720°C, nilai kekerasan mengalami peningkatan menjadi 95,71 HVN, dan pada suhu 750°C, HVN rata-rata mencapai 103,56 HVN. Sementara itu, penelitian yang dilakukan oleh Choirul Aprilian, 2018 [6] menghasilkan nilai kekerasan coran yang berbeda pada berbagai variasi temperatur penuangan, yaitu 104.57 HVN, 105.20 HVN, 106.73 HVN, 111.46 HVN, dan 113.60 HVN untuk temperatur penuangan berturut-turut 680°C, 705°C, 730°C, 755°C, dan 780°C. Hasilnya menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu tuang, semakin tinggi pula nilai HVN yang dicapai.

Berdasarkan penelitian oleh Adianta et al., 2018 [7], studi fluiditas dan karakteristik aliran menggunakan software Flow 3D yang dilakukan dengan variasi temperatur penuangan dimulai dari temperatur 685°C, 710°C, 735°C, 760°C, dan 785°C. Ketebalan cetakan pola yang digunakan dalam proses ini meliputi 1 mm, 3 mm, 5 mm, 7 mm, 9 mm, dan 12 mm.. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa terjadi masalah dalam proses pengecoran dengan saluran berbeda tebal. Sebagian besar inklusi gas atau zat pengotor terperangkap di area cetakan yang terisi paling akhir. Dengan kata lain, aliran logam akan mendorong inklusi dan zat pengotor ke bagian paling luar dari cetakan. Analisis distribusi temperatur menunjukkan bahwa suhu tertinggi terjadi pada saat logam dituangkan pada 785°C, khususnya pada rongga dengan ketebalan 7, 9, dan 12 mm, dengan suhu mencapai 736°C. Sebaliknya, pada saat logam dituangkan pada suhu 685°C, suhu terendah terjadi pada rongga dengan ketebalan 1 mm, yaitu sekitar 423°C. Fenomena ini terjadi karena logam yang dituangkan pada suhu 685°C mengalami penurunan suhu yang lebih signifikan, terutama saat melewati lintasan dalam cetakan dengan ketebalan minimum. Hal ini juga mempengaruhi jumlah logam cair yang melewati saluran. Jumlah kecil dari logam cair akan melepaskan panas lebih cepat daripada jumlah yang lebih besar. Oleh karena itu, proses pembekuan akan memakan waktu lebih lama, memberikan peluang lebih besar untuk logam cair memenuhi rongga, temperatur pengecoran yang tinggi diperlukan. Temperatur yang tinggi akan memperpanjang waktu dari pembekuan. Semakin lama waktu dari pembekuan, maka semakin jauh logam cair dapat mengalir. Namun, peningkatan jarak aliran logam cair untuk memenuhi ruang tipis sangat kecil dibandingkan dengan ruang yang tebal. [8].

Temperatur tuang mempengaruhi kemampuan material untuk mengisi cetakan dengan baik dan menghindari cacat seperti porositas atau gelembung gas. Sementara itu, tebal saluran memengaruhi laju pengisian cetakan dan pendinginan material cair. Pengaturan optimal dari kedua parameter ini dapat mempengaruhi sifat-sifat mekanis dan dari material coran. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk memahami bagaimana variasi temperatur dan variasi ketebalan saluran mempengaruhi karakteristik kekerasan pada material Al-7Si.

## 2. Dasar Teori

### 2.1. Aluminium

Aluminium adalah sebuah logam yang paling melimpah di Bumi. Sebagai logam non-ferrous yang paling banyak diproduksi dan dimurnikan, aluminium diperoleh dari bauksit ( $Al_2O_3$ ). Saat ini, aluminium memiliki aplikasi luas di berbagai sektor, termasuk peralatan rumah tangga, industri otomotif, industri penerbangan, dan konstruksi bangunan. Penggunaan aluminium yang meluas ini didorong oleh berbagai keunggulannya, seperti berat yang relatif ringan, ketahanan terhadap korosi yang baik, konduktivitas termal tinggi, kemudahan dalam proses pengolahan dengan mesin, dan tahan lama [9]. Aluminium memiliki titik leleh yang lebih rendah dibandingkan logam lainnya seperti tembaga, besi, dan kuningan. Dalam bentuk murninya, titik leleh aluminium sekitar 660 °C dan titik didihnya 2470 °C. Aluminium tidak rumit dicampur menjadi paduan untuk menyesuaikan berbagai sifatnya, seperti karakteristik mekanik, kemampuan pengecoran, kemampuan mesin, ketahanan terhadap korosi, kemampuan pengelasan, dan ketahanan terhadap retak panas [10].

### 2.2. Silikon

Silikon, sering disebut sebagai zat pasir dan disingkat Si, adalah unsur kimia dengan sifat yang menyerupai non-logam atau karbon. Pada suhu ruangan, silikon berwujud padat dan memiliki titik leleh sekitar 1410 °C serta titik didih sekitar 2800 °C. Ketika berada dalam bentuk cair, silikon memiliki massa jenis yang lebih besar daripada dalam bentuk padat, mengalirkan panas dengan baik, dan tidak cocok digunakan sebagai isolator. Silikon murni berwarna abu-abu metalik saat berbentuk kristal.

### 2.3. Paduan Al-7Si

Paduan ini adalah tipe paduan yang memiliki kemampuan pengecoran yang sangat baik, sehingga penggunaannya mendekati 90% dari total proses pengecoran aluminium [11]. Hal ini terjadi karena keberadaan silikon memberikan pengaruh positif dalam meningkatkan sifat-sifat pengecoran aluminium, sekaligus meningkatkan sifat mekanik dan ketahanan terhadap korosi. Paduan Al-Si adalah

material yang memiliki kemampuan pengecoran yang baik, mudah diolah dengan mesin, dan dapat dilas.

### 3. Metode penelitian

Alat dan bahan yang dibutuhkan dalam pengujian ini mencakup:

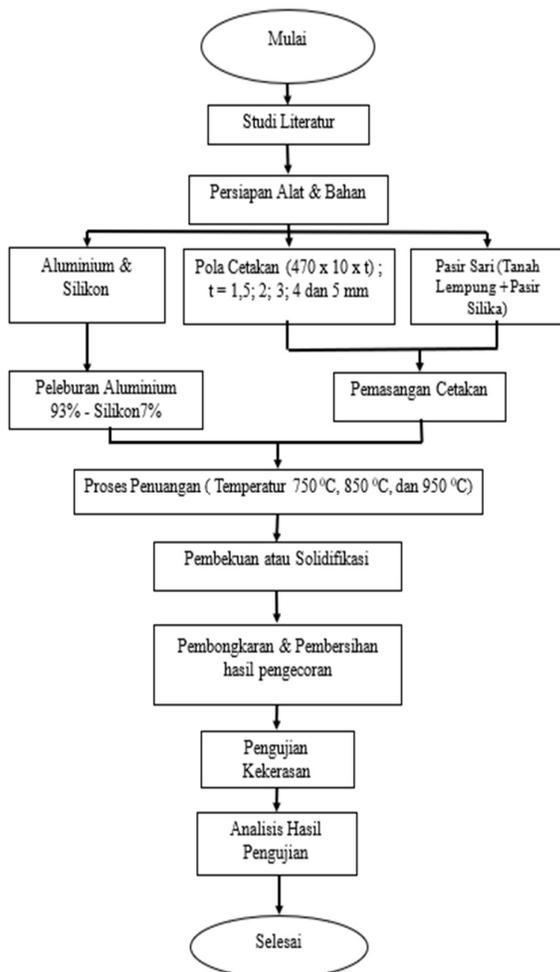
#### 3.1. Alat

1. Tungku krusibel
2. Thermokopel Type K
3. Wadah Pasir
4. Kowi
5. Alat ukur
6. Gerinda

#### 3.2. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan meliputi aluminium, silikon, pasir sari, dan papan kayu.

#### 3.3. Diagram alur penelitian



Gambar 1. Diagram alur penelitian

Penelitian dimulai dari studi literatur yang kemudian dilanjutkan dengan persiapan alat & bahan. Lalu dilanjutkan dengan proses pengecoran Paduan Al-7Si dan mempersiapkan spesimen yang nantinya akan diuji kekerasannya. Setelah mendapat hasil dari penelitian tersebut, maka dilakukan analisis data dan akhirnya penelitian pun selesai.

#### 3.4. Metode Uji

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan Metode Vickers dengan alat uji merk "Zwick Materialprufung".



Gambar 2. Alat Uji Merk "Zwick materialprufung"

### 4. Hasil dan Pembahasan

#### 4.1 Pengujian Kekerasan Metode Vickers

Data hasil uji Hardness Vickers yang diperoleh selanjutnya diproses untuk mendapatkan nilai kekerasan dari spesimen menggunakan persamaan (2.2)

$$HV_N = \frac{2.P \cdot \sin(\theta/2)}{d^2} = 1.854 \frac{P}{d^2} \dots\dots\dots 2.2$$

Keterangan:

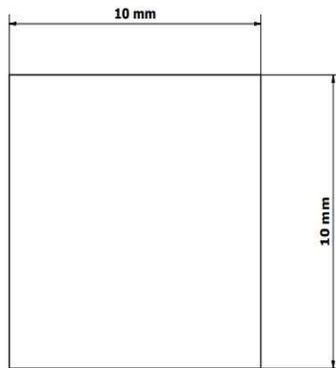
P = beban yang diterapkan pada penetrator intan (kg)

d = panjang diagonal rata-rata dari bekas penekan (mm)

$\theta$  = sudut puncak = 136 °

#### 4.2 Pemotongan spesimen uji Vickers

Sebelum pengujian kekerasan dilakukan, spesimen dipotong dengan panjang 10 mm, lebar 10 mm, dan ketebalan sesuai yang telah ditetapkan sebelumnya.



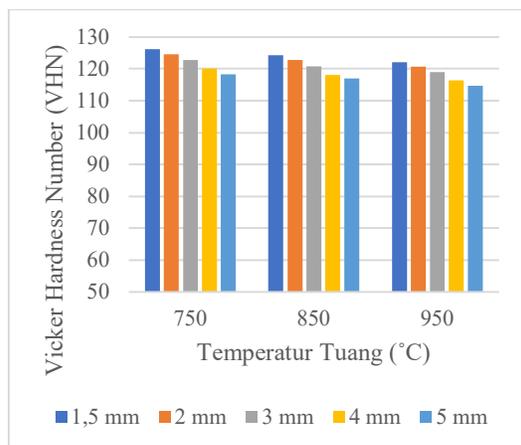
**Gambar 3. Dimensi pengukuran spesimen uji Kekerasan Vickers**



**Gambar 4. Spesimen uji Kekerasan Vickers**

#### 4.3 Data hasil Uji Kekerasan Vickers

Hasil penelitian pengujian kekerasan metode Vickers nantinya akan disajikan ke dalam bentuk grafik hubungan antara variasi temperatur tuang dan tebal saluran terhadap nilai kekerasan Vickers sebagai berikut.



**Gambar 5. Grafik hubungan antara variasi temperatur tuang dan tebal saluran terhadap nilai kekerasan Vickers**

Berdasarkan data uji kekerasan Vickers pada spesimen paduan Al-7Si yang dicetak dengan metode pengecoran pasir, terlihat penurunan nilai kekerasan pada spesimen dengan temperatur tuang yang lebih tinggi. Spesimen dengan temperatur tuang 750°C menunjukkan nilai kekerasan tertinggi, sementara spesimen dengan temperatur tuang 950°C menunjukkan nilai kekerasan terendah. Solidifikasi memiliki pengaruh signifikan terhadap kekerasan material dalam berbagai variasi tebal saluran. Pada saluran yang lebih tebal, laju pendinginan cenderung lebih lambat, yang membentuk butir kristal yang lebih besar. Akibatnya, kekerasan material dapat berkurang. Sebaliknya, pada saluran yang lebih tipis, laju pendinginan lebih cepat, menghasilkan butir kristal yang lebih kecil dan struktur material yang lebih padat, sehingga meningkatkan kekerasannya.

#### 5. Kesimpulan

Dari hasil pengujian Kekerasan Metode Vickers, dapat disimpulkan bahwa:

1. Variasi temperatur tuang mempengaruhi kekerasan material hasil pengecoran. Terdapat penurunan nilai kekerasan pada temperatur pengecoran yang tinggi. Nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada temperatur pengecoran 750°C, sementara nilai kekerasan terendah terjadi pada temperatur pengecoran 950°C.
2. Variasi ketebalan saluran berdampak pada kekerasan material Al-7Si. Semakin tebal ukuran saluran berpengaruh pada nilai kekerasannya.

#### 6. Daftar Pustaka

- [1] Sinung Khoirudin, Harjanto Budi, & Suhamo., 2014, *Pengaruh Variasi Jumlah Saluran Masuk Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan, Dan Ketangguhan Pengecoran Pulley Paduan Aluminium Al-Si Menggunakan Cetakan Pasir*, Jurnal Nosel,3(1), <https://jurnal.fkip.uns.ac.id/index.php/ptm/article/view/8161>.
- [2] Sinung Khoirudin, Harjanto Budi, & Suhamo., 2014, *Pengaruh Variasi Jumlah Saluran Masuk Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan, Dan Ketangguhan Pengecoran Pulley Paduan Aluminium Al-Si Menggunakan Cetakan Pasir*, Jurnal Nosel,3(1), <https://jurnal.fkip.uns.ac.id/index.php/ptm/article/view/8161>.

- [3] Irfa'i, I., Pratika, D., & Hafizh Ainur Rasyid, A., 2021, *Perbandingan Metode Sand Casting Dengan Centrifugal Casting Terhadap Kekuatan Bending Dan Porositas Al-Si Perbandingan Metode Sand Casting Dengan Metode Centrifugal Casting Terhadap Kekuatan Bending Dan Porositas Paduan Aluminium Silikon*, Jurnal Teknik Mesin Unesa Vol 9 No 1.
- [4] Kori, S. A., Murty, B. S., & Chakraborty, M., 2000, *Development Of An Efficient Grain Refiner For Al-7si Alloy*, In Materials Science And Engineering (Vol. 280). Www.Elsevier.Com/Locate/Msea
- [5] Arjunanda, S., Abadi, Z., Jasman, & Nurdin, H., 2022, *Pengaruh Temperatur Tuang Pada Pengecoran Daur Ulang Aluminium Terhadap Nilai Kekerasan The Effect Of Pouring Temperature On Hardness Value Of Recycled Aluminum*, In Jasman (Issue1). [Http://Vomek.Ppj.Unp.Ac.Id](http://Vomek.Ppj.Unp.Ac.Id)
- [6] Choirul Aprilian., 2018, *Optimalisasi Temperatur Tuang Terhadap Kekerasan Paduan Al-Si Dengan Menggunakan Cetakan Logam*, Jurnal Teknik Mesin Unesa Vol 6 No 1.
- [7] Adianta, A. W., Suprianto, S., Daely, A., & Bangun, M. F., 2018, *Studi Fluiditas Dan Karakteristik Aliran Pada Pengecoran Al-Si Alloy Menggunakan Simulasi Numerik*, Talenta Conference Series: Energy And Engineering(Ee),1(1),007–012. [Https://Doi.Org/10.32734/Ee.V1i1.102](https://Doi.Org/10.32734/Ee.V1i1.102)
- [8] Respati, S. M. B., Purwanto, H., & Mauluddin, M. S., 2010, *Pengaruh Tekanan Dan Temperatur Cetakan Terhadap Struktur Mikro Dan Kekerasan Hasil Pengecoran Pada Material Aluminium Daur Ulang*, Prosiding Seminar Nasional & Internasional,3(1). [Https://Jurnal.Umus.Ac.Id/ndex.Php/Psn12012010/Article/View/8](https://Jurnal.Umus.Ac.Id/ndex.Php/Psn12012010/Article/View/8)
- [9] Maciej Serda, Becker, F. G., Cleary, M., Team, R. M., Holtermann, H., The, D., Agenda, N., Science, P., Sk, S. K., Himnebusch, R., Himnebusch A, R., Rabinovich, I., Olmert, Y., Uld, D. Q. G. L. Q., Ri, W. K. H. U., Lq, V., Frxqwu, W. K. H., Zklfk, E., Edvvhg, L. V., ..., 2016, *فصل طمى ح . Pengaruh Penambahan Unsur Silikon (Si) Pada Shaft Propeller Berbahan Dasar Al-Mg-Si*, Jurnal Teknik Mesin,4(2),170–177. [Https://Doi.Org/10.2/Jquery.Min.Js](https://Doi.Org/10.2/Jquery.Min.Js)
- [10] Nanda, I. P., 2014, *Pengaruh Penambahan Fe Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Pada Paduan Aluminium 7% Silikon (Al-7%Si)*, Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIII (SNTTM XIII) Depok, 15 – 16 Oktober 2014.
- [11] Bahtiar, & Soemardji, L., 2012, *Pengaruh Temperatur Tuang Dan Kandungan Silicon Terhadap Nilai*

*Kekerasan Paduan Al-Si*, Jurnal Mekanikal, Vol. 3 No. 2, Juli 2012: 311-315 , 3, 311–315.



**Putu Andika Pramana Putra**  
Menyelesaikan studi program sarjana Di Jurusan Teknik Mesin, Universitas Udayana Bali.

# Pengaruh *Moisture Content* pada Insinerator *Municipal Solid Waste*

Gede Suba Ratya Putra, I Nyoman Suprpta Winaya, I Wayan Arya Darma  
*Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali*

## Abstrak

Curah hujan yang tinggi di Indonesia menyebabkan sampah padat kota atau *Municipal Solid Waste (MSW)* memiliki *moisture content* yang cukup tinggi. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengolah MSW tersebut adalah melalui proses termal Insenerasi yang mana Insenerasi merupakan proses reduksi bahan bakar padat dengan temperatur tinggi menggunakan alat insinerator. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh *moisture content* pada MSW terhadap profil temperatur serta efisiensi pembakaran pada Insinerator MSW Dual Chamber. MSW yang digunakan berasal dari campuran organik daun-daunan kering, kertas, karton, batok kelapa serta plastik yang telah diatur komposisinya agar homogen tiap variasi kemudian *moisture content*nya diatur dengan perlakuan pengeringan hingga sesuai dengan variasi yang diinginkan yaitu sebesar 10% *moisture content (MC)* untuk variasi 1, 20% MC untuk variasi 2, dan 30% MC untuk variasi 3. Pengujian dilakukan dengan memasukkan MSW melalui *fuel feeder* pada insinerator kemudian dibakar pada temperatur kontrol 900°C serta suplai udara blower ke ruang bakar sebesar 10m/s. Hasil penelitian eksperimental ini menunjukkan variasi *moisture content* 10% memiliki temperatur puncak pembakaran yang paling tinggi dengan temperatur 1020°C pada chamber1 dan 1130,3 °C pada chamber2 serta efisiensi pembakaran yang lebih baik juga diperoleh variasi *moisture content* 10% dengan nilai efisiensi mencapai 92,67%. Dengan ini menunjukkan bahwa pengurangan *moisture content* pada MSW dapat meningkatkan temperatur pembakaran pada Insenerator Dual Chamber, serta meningkatkan efisiensi pembakaran.

*Kata kunci:* Sampah padat kota, Insinerator, Kadar air

## Abstract

The high amount of rainfall in Indonesia causes *Municipal Solid Waste (MSW)* to have a high *moisture content*. One of the efforts that can be made to process MSW is through the thermal process of Incineration which is a solid fuel reduction process with high temperatures using an incinerator. This study aims to analysed the effect of *moisture content* in MSW on the temperature profile and combustion efficiency in a dual chamber incinerator. The MSW used comes from an organic mixture of dry leaves, paper, cardboard, coconut shell and plastic, the composition is arranged to be homogeneous for each variation and then the *moisture content* is adjusted by drying treatment to suit the variations used, namely 10% *moisture content (MC)* for the 1<sup>st</sup> Variation, 20% MC for 2<sup>nd</sup> variation, and 30% MC for 3<sup>rd</sup> variation. Tests were carried out by inserting MSW through the *fuel feeder* in the incinerator and then burning at a control temperature of 900 ° C and supplying blower air to the combustion chamber at 10m/s. The results of this experimental research show that the 10% *moisture content* variation has the highest peak combustion temperature with temperatures of 1020°C in chamber1 and 1130°C in chamber2 and better combustion efficiency is also obtained by the 10% *moisture content* variation with an efficiency value of 92.67%. This indicates that the reduction of *moisture content* in MSW can increase the combustion temperature in the Dual Chamber Incinerator, and increase the combustion efficiency.

*Keywords:* *Municipal Solid Waste, Incinerator, Moisture Content*

## 1. Pendahuluan

Sampah masih menjadi permasalahan lingkungan di Indonesia yang masih belum terselesaikan dengan baik. Pengelolaan sampah padat kota atau *Municipal Solid Waste (MSW)* di Indonesia pada umumnya masih bersifat konvensional. MSW yang berasal dari sumber masih diangkut menggunakan transportasi pengangkutan sampah menuju tempat pembuangan akhir (TPA) hal ini menyebabkan timbulan sampah semakin meningkat tiap tahunnya yang jika dibiarkan dapat menjadi sumber penyakit dan mencemari lingkungan [1].

Curah hujan yang tinggi menyebabkan MSW di Indonesia cenderung sangat lembab atau memiliki *moisture content* yang tinggi, terutama saat musim hujan. Timbulan MSW yang lembab dapat meningkatkan proses biodegradasi yang menghasilkan lindi. Lindi adalah cairan limbah yang telah

terkontaminasi berbagai macam polutan, logam berat, patogen dan zat organik lainnya yang dapat menyebabkan pencemaran tanah dan air di sekitar lokasi timbulan [2]. Maka dengan ini diperlukan pengelolaan MSW di TPA secara langsung untuk menghindari timbulan sampah yang terlalu lama.

Selain menyebabkan terbentuknya lindi, *moisture content* pada MSW juga dapat mempengaruhi nilai kalor yang dimilikinya. Nilai kalor pada MSW menunjukkan potensi yang dimiliki oleh MSW tersebut apabila dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif seperti diolah menjadi briket dan RDF [3].

Ada banyak cara untuk mengelola MSW disamping dengan menjadikannya briket dan RDF yang dapat bermanfaat sebagai bahan bakar. Proses pengolahan secara langsung dari TPA juga dapat dilakukan dengan metode termal, yang mana salah satunya adalah Insenerasi. Insenerasi merupakan

teknologi pengolahan MSW melalui proses pembakaran dengan temperatur yang tinggi umumnya diatas 800°C untuk mereduksi MSW agar tidak dapat didaur ulang dengan alat yang bernama insinerator. Proses insinerasi ini menghasilkan abu sebagai produk akhir dan energi panas dari gas buang sehingga dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi panas terbarukan [4].

Insinerator sendiri memiliki berbagai macam tipe disesuaikan dengan kebutuhan pembakaran, salah satunya adalah *Fixed Grate* Insinerator, yang banyak digunakan untuk mereduksi sampah karena lebih praktis dan tidak memerlukan banyak komponen penunjang untuk pengoprasiannya. Dalam pemanfaatannya, insinerator dengan *dual chamber* atau dua reaktor lebih baik dikarenakan dapat menghasilkan emisi gas buang yang lebih rendah dibandingkan hanya dengan satu reaktor, jadi lebih ramah lingkungan. Hal ini didukung oleh penelitian yang dilakukan [5] di Bagamoyo, Tanzania. Pada penelitian ini menjelaskan bahwa pembakaran limbah medis dengan Insinerator *Fixed Grate Dual Chamber* menghasilkan emisi gas buang CO yang rendah serta efisiensi pembakaran yang cukup baik.

Sebelumnya telah dilakukan penelitian [6] mengenai efek dari *moisture content* pada MSW terhadap Gasifikasi dan Pirolisis dengan variasi moisture 9,20%, 22,30%, 35,60% dan 51,70%. Dari hasil penelitian tersebut didapatkan bahwa peningkatan *moisture content* pada MSW berpengaruh terhadap nilai LHV pada syngas yang semakin kecil serta menurunnya efisiensi pembakaran yang terjadi pada alat tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis bagaimana pengaruh dari *moisture content* pada MSW terhadap performansi pembakaran Insinerator MSW tipe *Fixed Grate Dual Chamber*.

Beberapa batasan ditetapkan dalam penelitian ini meliputi:

1. Kapasitas dari *chamber* 1 sebesar 0,2285 m<sup>3</sup> dan *chamber* 2 sebesar 0,0637 m<sup>3</sup>.
2. MSW yang digunakan sudah diatur dalam keadaan homogen dengan campuran dari sampah organik daun-daunan kering 25 %, kertas 25%, batok kelapa 25%, kardus 15% dan kantong plastik 10% dari total massa 3 kg untuk kebutuhan bahan bakar.
3. Pengambilan data diasumsikan dalam kondisi lingkungan *steady state*.
4. Temperatur operasi pada *chamber* 1 ditetapkan sebesar 900°C dan pada *chamber* 2 sebesar 1000°C.
5. Kecepatan udara pada *blower* utama yang menyuplai udara ke ruang bakar diatur 10 m/s, kemudian kecepatan udara *blower* dari *burner* diatur 6 m/s dan kecepatan udaranya diasumsikan konstan.

## 2. Dasar Teori

Data Inventaris sampah nasional Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) yang di publikasikan di situs Sistem Informasi Persampahan Nasional (SIPSN) mencatat total timbulan sampah di Indonesia pada tahun 2023 mencapai 30.968.863 ton, dan dari angka tersebut sampah yang tidak dapat dikelola sebesar 23,17% atau sekitar 7.174.206 ton. Sampah yang tidak dapat dikelola ini umumnya berasal dari sampah yang tidak dapat di daur ulang kembali, jadi memerlukan tindakan pengolahan secara langsung untuk dapat mengurangi volume sampah tersebut.

*Municipal Solid Waste* (MSW) atau yang biasa dikenal dengan sampah padat kota merupakan sampah yang terdiri dari barang atau benda yang dimanfaatkan sehari-hari oleh masyarakat kemudian dibuang karena sudah dianggap tidak bernilai. MSW dapat dikelompokkan menjadi 3 jenis, yaitu pertama sampah yang dapat di daur ulang seperti sampah kain, kaleng, botol kaca, plastik keras, botol plastik kemasan dll. Kemudian yang kedua sampah inert yang terdiri dari sampah sisa konstruksi pembangunan, tanah, kemarik, batu dll. Terakhir sampah yang dapat terurai secara biologis yang terdiri dari sampah sisa makanan, sayuran, sampah buah dan sampah organik lainnya yang berasal dari dekomposisi tanaman [7].

*Moisture content* atau kadar air pada MSW merupakan jumlah persentase air yang terkandung dalam sebuah atau sekumpulan MSW. Mengetahui *moisture content* yang ada pada MSW penting agar dapat menentukan *treatment* pengolahan yang tepat terhadap MSW tersebut. Dalam pemanfaatannya sebagai bahan bakar, *moisture content* berperan penting dalam menentukan kualitas MSW sebagai bahan bakar, karena nantinya akan berpengaruh terhadap nilai kalor yang dimiliki.

Teknologi Pengolahan MSW secara termal merupakan proses konversi MSW dari padat menjadi fase gas, cair atau padat dengan memberikan perlakuan energi panas. Insenerasi merupakan salah satu metode pengolahan MSW secara termal yang banyak digunakan karena mampu efektif untuk mengurangi volume MSW hingga 95 %, serta dapat menghasilkan polusi udara yang lebih rendah jika dikelola dengan baik [8].

*Fixed grate* insinerator merupakan insinerator yang bertipe konvensional dengan grate yang berada di bagian bawah incinerator, serta jalur bukaan di bagian samping atau atas sebagai jalur input MSW dan bukaan lainnya untuk mengeluarkan bahan tersisa atau tidak terbakar seperti abu, logam dsb [9]. Umumnya tempat penampungan abu (*ash pit*) berada di bagian dasar (*grate*). Produk akhir yang dihasilkan berupa abu sisa pembakaran dan gas buang panas yang terdiri dari CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O.

### 3. Metode Penelitian

#### 3.1 Alat dan Bahan

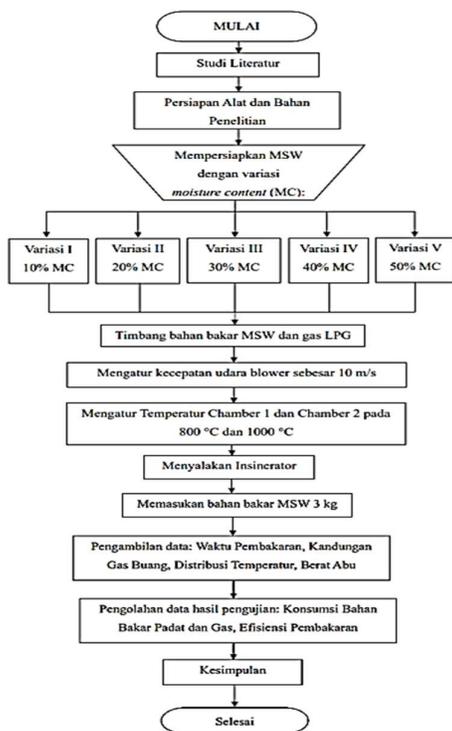
Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Insinerator MSW *Fixed Grate Dual Chamber*
2. Sampel bahan bakar MSW
3. Tabung gas LPG
4. Oven
5. Anemometer
6. Timbangan
7. Data logger
8. Termokopel
9. Timer
10. Laptop

Kemudian komponen yang terintegrasi pada Insinerator MSW *Fixed Grate Dual Chamber* antara lain:

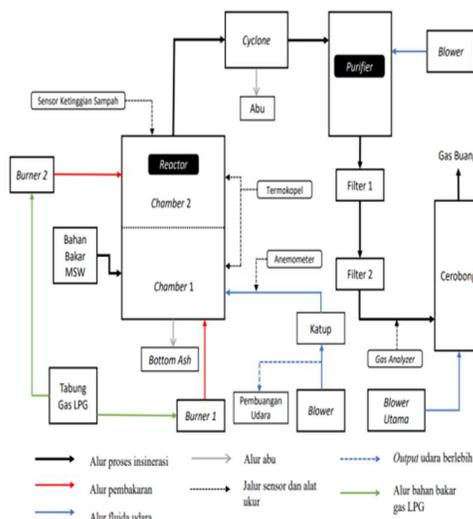
1. Reaktor pembakaran (*dual chamber*)
2. *Burner*
3. Termokopel
4. *Cyclone*
5. *Blower*
6. *Gas line*
7. Purifier
8. *Glasswool*
9. *Ceramic fiber board*
10. Sensor ketinggian sampah
11. *Programmable logic control (PLC)*

#### 3.2 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

#### 3.3 Skematik Alat Insinerator



Gambar 3. Skematik proses penggunaan alat pada Insinerator



Gambar 4. Alat insinerator *fixed grate dual chamber*

#### 3.4 Pra-Pengujian

Sebelum dilakukan proses pengujian, dilakukan perlakuan terhadap sampel MSW yang akan digunakan selama proses pengujian, diantaranya dilakukan proses pemilahan sesuai dengan komposisi yang diinginkan sebanyak 5 sampel dan dilakukan pencacahan terhadap kelima sampel tersebut untuk memperkecil partikel MSWnya. Kemudian dilakukan perlakuan pengeringan dengan bantuan oven dengan suhu 110°C hingga *moisture content* pada sampel mendekati 0%. Saat *moisture content* setiap sampel sudah mendekati 0%, kelima sampel dimasukkan ke plastik ziplock dan diberikan perlakuan penambahan *moisture content* yang berbeda sesuai dengan variasi yang dibutuhkan, yaitu 10% MC, 20% MC, dan 30% MC, lalu sampel dibiarkan selama seminggu agar *moisture*nya dapat meresap ke bagian dalam sampel.

Setelah diberikan perlakuan, sampel MSW selanjutnya akan diuji dengan pengujian proximate untuk mengetahui unsur fisika dari bahan bakar MSW berupa *moisture content*, *ash content*, *fixed carbon*, dan *volatile matter*. Pengujian *bomb calorimeter* juga dilakukan untuk mengetahui nilai kalor yang dimiliki oleh masing-masing variasi sampel.

### 3.5 Pelaksanaan Pengujian

Proses insinerasi MSW dimulai dengan menyalakan Insinerator MSW *Fixed Grate Dual Chamber* menggunakan tombol pada PLC. Sebelum insinerator dinyalakan, tabung gas LPG dihubungkan dengan *burner* melalui selang regulator sebagai sumber bahan bakar untuk *burner* memantikan api. Kemudian mengatur kecepatan udara *blower burner* sebesar 6 m/s dan *blower* utama sebesar 10 m/s dengan anemometer serta mengatur temperatur operasi yang ditetapkan sebesar 900°C untuk *chamber 1* dan 1000°C untuk *chamber 2*. Setelah semua persiapan sudah dilakukan termasuk menimbang sampel bahan bakar MSW, insinerator dinyalakan. Saat indikator temperatur yang ditunjukkan pada PLC sudah mencapai temperatur operasi pada *chamber 1*, maka bahan bakar dimasukkan melalui fuel feeder. Proses pembakaran MSW akan terjadi pada *chamber 1* dan partikulat atau gas menguap sisa pembakaran akan terbakar pada *chamber 2*. Distribusi temperatur direkam menggunakan *data logger* dengan bantuan laptop sebagai display yang sudah terhubung dengan termokopel pada *chamber 1* dan *2*. Gas sisa pembakaran yang telah melewati *chamber 2* akan diteruskan ke *cyclone*, di *cyclone* partikel menguap yang lebih berat akan turun menuju *ash pit* pada *cyclone*, sedangkan gas akan diteruskan melewati *gas line* menuju *purifier* untuk proses pendinginan sekaligus di filtrasi sebelum akhirnya dibuang ke atmosfer melalui cerobong asap. Abu sisa pembakaran nantinya akan diambil melalui pintu yang ada pada bagian dasar (*grate*) insinerator.

### 3.5 Parameter Profil Temperatur

Profil temperatur pada hasil pengujian insinerasi merupakan grafik yang menunjukkan distribusi temperatur selama proses pembakaran berlangsung. Profil temperatur penting untuk menentukan efisiensi selama proses insinerasi, dikarenakan perbedaan suhu dapat mempengaruhi kualitas hasil pembakaran.

### 3.6 Efisiensi Pembakaran

Efisiensi pembakaran pada *fixed grate* insinerator dapat dicari dengan mengetahui berapa nilai energi (kalor) input ke ruang pembakaran ( $Q_{in}$ ), nilai energi (kalor) yang terbuang ( $Q_{out}$ ) selama proses pembakaran dan dikalikan dengan 100%. Persamaannya dapat ditulis sebagai berikut:

$$\eta = \frac{Q_{in\ total} - Q_{out\ total}}{Q_{in\ total}} \times 100\% \quad (1)$$

$$Q_{in} = m_{bb} \times LHV_{bb} \quad (2)$$

$$Q_{out} = V_{gas} \times LHV_{gas} \quad (3)$$

- $\eta$  = Efisiensi pembakaran (%)
- $Q_{in}$  = Nilai kalor yang masuk (MJ)
- $Q_{out}$  = Nilai kalor yang keluar (MJ)
- $m_{bb}$  = Massa bahan bakar MSW (kg)
- $V_{gas}$  = Volume gas buang (m<sup>3</sup>)
- $LHV_{bb}$  = Low heating value bahan bakar (MJ/kg)
- $LHV_{gas}$  = Low heating value gas buang (MJ/kg)

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1. Karakterisasi Bahan Bakar

Karakterisasi bahan bakar dilakukan untuk menganalisis kandungan yang terdapat pada bahan bakar MSW yang digunakan dalam penelitian. Karakterisasi bahan bakar dilakukan dengan melakukan uji *proximate* menggunakan alat *Thermogravimetri Analyst 701* yang dilakukan menggunakan metode ASTM-D-7582 MVA BIOMA Berikut adalah tabel hasil pengujian *proximate* terhadap kelima sampel bahan bakar.

**Table 1. Hasil Uji Proximate Bahan Bakar MSW**

Bahan Bakar	Moisture content (%)	Volatile (%)	Fixed carbon (%)	Ash content (%)
MSW MC 10 %	16,83	64,24	12,71	6,22
MSW MC 20%	26,21	55,96	10,77	5,06
MSW MC 30 %	35,13	51,61	9,03	4,23

### 4.2. Karakterisasi Nilai Kalor Bahan Bakar

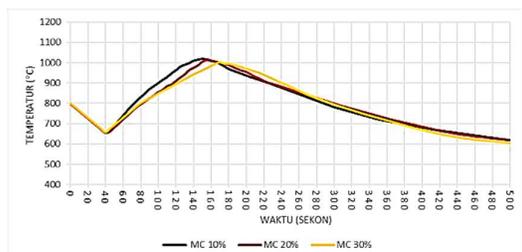
Karakterisasi nilai kalor dilakukan untuk menganalisis jumlah kalor (energi panas) yang terlepas untuk tiap satuan massa dari sampel bahan bakar. Analisis nilai kalor tersebut dilakukan dengan melakukan Uji *bomb calorimeter* menggunakan alat Parr 1341 *Oxygen Bomb Calorimeter* dengan standar ASTM *Standard Test Method D5865*. Berikut hasil pengujian nilai kalor terhadap kelima sampel bahan bakar.

**Table 2. Analisis Nilai Kalor Bahan Bakar MSW**

Bahan bakar	Berat sampel (gram)	Nilai Kalor Sampel Bahan Bakar MSW			
		Suhu (ΔT)		Nilai Kalor (LHV)	
		T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)	(cal/kg)	(MJ/kg)
MSW MC 10 %	0,9598	26,598	28,462	3615,73	15,138
MSW MC 20 %	0,9624	27,266	28,846	2944,25	12,327
MSW MC 30 %	0,9752	26,935	28,311	2494,74	10,444

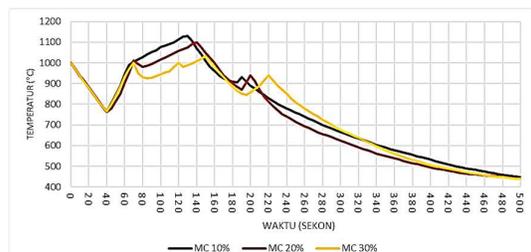
### 4.3 Profil Temperatur

Berikut grafik temperatur yang didapat dari kelima variasi yang diuji pada *chamber 1* dan *chamber 2*.



**Gambar 5. Grafik Temperatur Chamber 1 Tiap Variasi**

Berdasarkan gambar di atas, menunjukkan distribusi temperatur yang terjadi pada *chamber 1*. Puncak temperatur tertinggi diperoleh variasi *moisture content* 10% dengan temperatur 1020°C, hal tersebut disebabkan karena pembakaran pada variasi *moisture content* 10% dapat memanfaatkan energi panas lebih optimal daripada variasi lainnya, dikarenakan usaha yang diperlukan untuk mengeringkan *moisture content* saat awal pembakaran sangat kecil, sehingga lonjakan temperatur dapat terjadi lebih awal hingga mencapai puncak temperatur pembakaran [10].



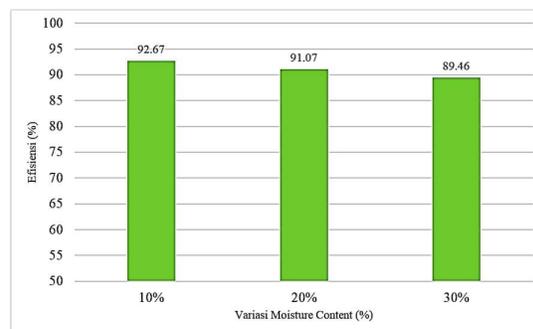
**Gambar 6. Grafik Temperatur Chamber 2 Tiap Variasi**

Berdasarkan gambar di atas, menunjukkan distribusi temperatur yang terjadi pada *chamber 2*. Setelah bahan bakar masuk ke *chamber 1*, terjadi

lonjakan temperatur yang signifikan pada *chamber 2*. Puncak temperatur tertinggi dicapai oleh variasi *moisture content* 10% dengan temperatur 1130,3°C, hal ini sejalan dengan yang terjadi pada *chamber 1* yang mana dikarenakan proses pengeringan bahan bakar yang lebih cepat menyebabkan lonjakan temperatur pembakaran terjadi lebih awal [10]. *Moisture content* juga berpengaruh terhadap lamanya waktu pembakaran, pada gambar 6 terlihat adanya lonjakan temperatur pada variasi *moisture content* yang lebih tinggi yang mengindikasikan masih terjadi pembakaran pada *chamber 2*, hingga saat temperatur turun terus menerus tanpa mengalami kenaikan maka waktu pembakaran telah dinyatakan selesai dan sampel bahan bakar MSW sudah terbakar habis.

### 4.4 Efisiensi Pembakaran

Efisiensi pembakaran menunjukkan seberapa besar nilai kalor yang di berguna saat terjadinya proses pembakaran yang dinyatakan dalam persen. Setelah mendapatkan data yang dibutuhkan dan dihitung menggunakan persamaan yang dijabarkan sebelumnya, maka hasil efisiensi pembakaran setiap variasi dapat dilihat pada diagram berikut.



**Gambar 6. Diagram Efisiensi Pembakaran**

Berdasarkan gambar di atas, diagram efisiensi pembakaran menunjukkan perbandingan efisiensi yang dicapai tiap variasi. Variasi *moisture content* 10% memiliki nilai efisiensi tertinggi hingga 92,67%, lalu efisiensi pembakaran mengalami penurunan seiring dengan peningkatan *moisture content*. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi seperti temperatur puncak pembakaran yang lebih rendah menyebabkan energi panas yang dihasilkan lebih kecil, ditambah dengan upaya pengeringan yang memerlukan lebih banyak energi panas jadi mempengaruhi tingkat efisiensi pembakaran [10]. Faktor lainnya disebabkan nilai LHV dari bahan bakar sebelum diuji memang sudah kecil sehingga berpengaruh ke nilai efisiensi secara keseluruhan [6].

### 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis bagaimana pengaruh dari *moisture content* pada MSW terhadap

performa pembakaran insinerator MSW *Fixed Grate Dual Chamber*, maka diperoleh kesimpulan terkait parameter performansi bahwa:

- *Moisture content* pada MSW berpengaruh terhadap performansi Insinerator *Fixed Grate Dual Chamber*.
- Semakin kecil *moisture content* yang ada pada MSW akan meningkatkan temperatur puncak pembakaran yang bisa tercapai. Penurunan *moisture content* juga membuat waktu pembakaran menjadi lebih singkat yang mana berpengaruh terhadap meningkatnya total energi kalor yang dihasilkan sehingga efisiensi pembakarannya menjadi lebih baik.
- Temperatur puncak tertinggi dicapai oleh variasi *moisture content* 10% dengan temperatur 1020°C pada *chamber* 1 dan 1130,3°C pada *chamber* 2, sedangkan untuk efisiensi pembakaran terbaik juga diraih oleh variasi yang sama dengan nilai efisiensi sebesar 92,67%.

#### Daftar Pustaka

- [1] Harun, S. F., & Sokku, S. R. (2020). Analisis Pemanfaatan Limbah Rumah Tangga Sebagai Sumber Energi Alternatif. *Prosiding Seminar Nasional LP2M UNM*, 14(4), 551–556.
- [2] Benaddi, R., Ferkan, Y., Bouriqi, A., & Ouazzani, N. (2022). Impact of Landfill Leachate on Groundwater Quality – A Comparison Between Three Different Landfills in Morocco. *Journal of Ecological Engineering*, 23(11), 89–94.
- [3] Fadhili, M. A., & Ansosry. (2019). Analisis Pengaruh Perubahan Nilai Total Moisture, Ash Content dan Total Sulphur Terhadap Nilai Kalori Batubara Bb-50 Di Tambang Banko Barat Pt. Bukit Asam, Tbk. *Tanjung Enim*. 4(3), 54–64.
- [4] Sukanta, Wiranata, A., & Thoharuddin. (2017). Pembuatan Alat Insinerator Limbah Padat Medis Skala Kecil. *Semesta Teknika*, 20(2), 147–153.
- [5] Mngoma Omari, A. (2015). Operating Conditions of A Locally Made Fixed-Bed Insinerator, a Case Study of Bagamoyo – Tanzania. *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*, 3(2), 80.
- [6] Dong, J., Yong, C., Yuanjun, T., Ni, M., Nzihou, A., Weiss-hortala, E., & Huang, Q. (2016). Effect of Operating Parameters and *Moisture content* on *Municipal Solid Waste*

Pyrolysis and Gasification Heavy Metals in *Municipal Solid Waste*. *Energy and Fuels*, American Chemical Society, 29(11), 7516–7525.

- [7] Ali, W., Asif, M., & Peshawar, T. (2019). Analysis of Electricity from Municipality Solid Waste of Peshawar City by Utilized plasma Arc Gasification Technique. 6(10), 324–332.
- [8] Yuliani, M. (2016). Incineration for *Municipal Solid Waste* Treatment. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 9(2), 89–96.
- [9] Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. (2018). *Teknologi Termal WtE Berbasis Proses Pembakaran (Insinerasi)*. Modul Pelatihan, 1(09), 1–124.
- [10] Chaerul, M., & Fakhrunnisa, A. (2020). Refuse Derived Fuel Production through Biodrying Process (Case study: Solid Waste from Canteens). *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 9(1), 69–80.



**Gede Suba Ratya Putra**  
 menyelesaikan program sarjana di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana pada tahun 2024.  
 Judul tugas akhir Pengaruh *Moisture content* Pada *Municipal Solid Waste* Terhadap Performansi Insinerator Dual Chamber .



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.



I Wayan Arya Darma ST., MT. Menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana pada tahun 2013, dan menyelesaikan studi S2 di Universitas Udayana pada tahun 2018. I Wayan Arya Darma ST., MT. memiliki konsentrasi ilmu dalam bidang konversi energi.

# SIMULASI PENGARUH KECEPATAN UDARA FLUIDISASI TERHADAP *VOLUME FRACTION* PADA GASIFIKASI *DUAL REAKTOR FLUIDIZED BED* MENGGUNAKAN *SOFTWARE CFPD BARRACUDA VIRTUAL REAKTOR*

Muhammad Yusuf Wibisono, I Nyoman Suprapta Winaya, I Gede Putu Agus Suryawan

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

---

## Abstrak

Gasifikasi merupakan konversi bahan baku padat atau cair menjadi bahan bakar gas atau bahan baku kimia yang berguna dan dapat dibakar dengan mudah untuk melepaskan energi atau digunakan untuk produksi bahan kimia yang memiliki nilai tambah. Gasifikasi membutuhkan agen gasifikasi, yaitu udara, oksigen atau uap, untuk mengatur ulang struktur molekul bahan baku dan mengubahnya menjadi bahan bakar gas yang berguna dan memiliki rasio (H/C) yang lebih tinggi. Perkembangan teknologi gasifikasi sudah sangat banyak dikembangkan, salah satunya adalah dual reactor fluidized bed. Pada teknologi ini menggunakan dua reaktor yaitu reaktor pembakaran dan reaktor gasifikasi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis bagaimana pengaruh variasi kecepatan udara fluidisasi terhadap volume fraction pada Dual Reaktor Fluidized Bed (DRFB). Metode penelitian yang dilakukan yaitu simulasi dengan menggunakan software CFPD Barracuda Virtual Reactor. Desain yang digunakan pada simulasi ini adalah dual reactor fluidized bed, bahan bakar yang digunakan adalah RDF dengan ukuran 0.2-0.4 mm. Material Bed yang digunakan yaitu pasir silika dengan ukuran 0.1-0.2 mm. Pada penelitian ini menggunakan 3 variasi kecepatan udara yaitu 12 m/s, 13 m/s, dan 14 m/s. Hasil penelitian didapatkan seiring bertambahnya kecepatan udara maka semakin kecil nilai fraksi volume yang dihasilkan, variasi kecepatan 12 m/s menghasilkan nilai fraksi volume lebih tinggi dibandingkan kecepatan 14 m/s.

*Kata kunci: Gasifikasi, Dual Reactor Fluidized Bed, RDF, Simulasi, Fraksi Volume*

## Abstract

Gasification is the process of converting solid or liquid feedstock into useful gaseous fuel or chemical feedstock that can easily be burned to release energy or used for the production of value-added chemicals. Gasification requires a gasification agent, such as air, oxygen, or steam, to restructure the molecular structure of the feedstock and convert it into useful gaseous fuel with a higherr(H/C) ratio. The development of gasification technology has been extensive, one of which is the dual reactor fluidized bed (DRFB) technology. This technology utilizes two reactors: the combustion reactor and the gasification reactor. This study aims to analyze the influence of various air fluidization velocities on the volume fraction in a Dual Reactor Fluidized Bed (DRFB). The research method employed simulation using CFPD Barracuda Virtual Reactor software. The design used in this simulation is a dual reactor fluidized bed, with RDF fuel ranging in size from 0.2-0.4 mm. The material bed used is silica sand with a size range of 0.1-0.2 mm. This study utilized three air velocity variations: 12 m/s, 13 m/s, and 14 m/s. The research results indicate that as the air velocity increases, the resulting volume fraction decreases. The 12 m/s velocity variation yields a higher volume fraction value compared to the 14 m/s velocity.

**Keyword:** Gasification, Dual Reactor Fluidized Bed, RDF, Simulation, Volume Fraction

---

## 1. Pendahuluan

Energi sudah menjadi bagian penting dari kebutuhan masyarakat di negara mana pun, termasuk di Indonesia. Seiring berjalannya waktu, jumlah penduduk Indonesia yang terus bertambah memungkinkan penggunaan energi yang akan ikut meningkat juga [1]. Selain permasalahan meningkatnya kebutuhan energi,

sampah juga menjadi permasalahan yang masih belum dapat terselesaikan.

Berdasarkan dari data Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, jumlah timbulan sampah yang ada di Bali terus meningkat setiap tahunnya. Pada tahun 2020 timbulan sampah di Bali mencapai 904.924,34 ton. Untuk tahun 2021 meningkat menjadi 915.482,46 dan pada tahun 2022 timbulan

sampah menjadi 975.239,66 ton. Untuk mengatasi hal ini, maka sampah tersebut dapat diolah menjadi sumber energi alternatif yaitu biomassa. satu teknologi yang saat ini berkembang untuk mengubah biomassa menjadi energi yaitu gasifikasi biomassa [2]. Diketahui bahwa metode gasifikasi ini memiliki kapasitas reduksi gas rumah kaca yang tinggi dan lebih ramah lingkungan jika dibandingkan dengan metode lain [3]. Perkembangan teknologi gasifikasi sudah sangat banyak dikembangkan, salah satunya adalah *dual reactor fluidized bed*. Pada system ini dual reactor memaksimalkan hasil pengkonversian bahan bakar yang belum sempurna menghasilkan gas dan masih menyisakan *char* akan dialirkan menuju reactor pembakaran lalu disirkulasikan menuju reactor gasifikasi lagi sehingga sisa residu *char* yang di hasilkan tidak ada lagi.

Computational Particle Fluid Dynamics (CPFD) adalah pengembangan dari Computational Fluid Dynamic (CFD). Metodologi CPFD menggunakan pendekatan model Multiphase Particle In Cell (MP-PIC). Pendekatan MP-PIC didasarkan pada pendekatan Eulerian-Lagrangian (EL) yang memperkenalkan konsep komputasi partikel, yang dimana partikel dikelompokkan sesuai dengan sifat yang sama seperti ukuran, densitas, waktu tinggal, kecepatan, dan lain-lain kedalam partikel komputasi [4]. Penggunaan CPFD sudah banyak diterapkan pada industri seperti, down flow reactors, biomass combustion chamber, biomass gasification, dan lain-lain. Beberapa peneliti menerapkan metode ini dalam model 3d untuk mempelajari efek partikel dan distribusi partikel pada sirkulasi fluidized bed [5].

Berdasarkan dari pemaparan di atas, penulis akan melakukan penelitian dengan memvariasikan kecepatan udara fluidisasi untuk mengetahui bagaimana pengaruh kecepatan udara fluidisasi terhadap *volume fraction* pada gasifikasi *dual reactor fluidized bed* dengan menggunakan software CPFD *Barracuda Virtual Reaktor*

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Refuse Derived Fuel

Refuse Derived Fuel (RDF) merupakan hasil dari proses pemisahan limbah padat menjadi fraksi sampah yang mudah terbakar dan tidak mudah terbakar, seperti logam dan kaca. RDF mampu mengurangi jumlah sampah dan digunakan sebagai bahan bakar sekunder dalam industri semen dan pembangkit listrik melalui proses co-combustion. Dalam pembuatan RDF, fraksi sampah yang mudah terbakar biasanya diperkecil ukurannya dan dikeringkan agar dapat digunakan sebagai bahan bakar.

RDF yang akan digunakan telah melalui berbagai pengujian, termasuk Uji Proximate, Uji Ultimate, dan Uji Bomb Calorimeter. Pengujian ini penting untuk mengetahui kandungan dalam RDF, sehingga parameter-parameter yang dibutuhkan dapat diidentifikasi.

Tabel 1. Hasil Pengujian *Proximate Analysis*

Bahan Bakar	Moisture (%)	Volatile Matter (%)	Ash (%)	Fixed Carbon (%)
RDF	7,11	53,58	24,20	15,10

Tabel 2. Hasil Pengujian *Ultimate Analysis*

Bahan Bakar	Carbon (%)	Legend (%)	Nitrogen (%)	Oksigen (%)	Sulfur (%)
RDF	49,75	9,04	10,77	28,55	1,89

Tabel 3. Hasil Pengujian *Bomb Calorimeter*

### 2.2 Fluidisasi

Fluidisasi adalah kondisi di mana bahan bakar padat diperlakukan seperti fluida dengan memanfaatkan material bed. Fluidisasi juga dapat diartikan sebagai proses di mana lapisan zat padat diperlakukan seperti fluida [6].

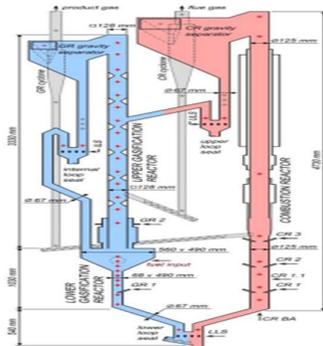
Sistem fluidisasi antara bahan bakar dan material bed terjadi karena luasnya permukaan kontak. Jika fluida yang melewati unggun partikel memiliki kecepatan rendah, maka unggun tidak akan bergerak. Namun, jika kecepatan fluida meningkat, perbedaan tekanan sepanjang unggun juga akan meningkat. Saat perbedaan tekanan sama dengan berat unggun dibagi luas penampang, unggun mulai bergerak dan melayang ke atas. Partikel-partikel padat ini akan bergerak dan memiliki perilaku seperti fluida. Kondisi ini dikenal sebagai lapisan terfluidisasi (*fluidized bed*).

### 2.3 Teknologi Gasifikasi

Gasifikasi didefinisikan sebagai konversi termo-kimia dari bahan padat atau cair yang berbasis karbon (feedstock) menjadi produk gas yang bisa dibakar (combustible) dengan pasokan bahan pembantu gasifikasi berupa gas yang lain. Bahan bakar yang digunakan dalam proses gasifikasi memiliki kandungan hidrokarbon seperti biomassa, sehingga sampah yang tidak bisa dimanfaatkan dapat terkelola dengan baik menggunakan teknologi gasifikasi dan dirubah menjadi energi terbarukan. Produk utama dari hasil gasifikasi umumnya adalah gas yang dapat terbakar seperti CO, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, serta gas lainnya seperti CO<sub>2</sub>. Proses gasifikasi tidak berbeda jauh dengan pembakaran, keduanya sama sama memerlukan suplai oksigen selama proses berlangsung, hanya saja pada gasifikasi perlu dikontrol oksigen yang masuk ke dalam sistem

## 2.4 Dual Reactor Fluidized Bed

Sebuah pengembangan teknologi terbaru yaitu *dual reactor fluidized bed* (DRFB) merupakan salah satu jenis reaktor yang memiliki sistem sirkulasi ganda, dimana salah satu reaktor berfungsi sebagai tempat proses gasifikasi, sedangkan reaktor lainnya digunakan untuk membakar biomassa yang tidak terkonversi secara sempurna. DRFB merupakan sebuah pengembangan teknologi dari reaktor tipe *circulating fluidized bed* yang digabungkan dengan tipe *updraft gasifier*[7].



Gambar 1. Dual Reactor Fluidized Bed

## 2.5 Computational Particle Fluid Dynamic

Computational Fluid Dynamic (CPFD) adalah pengembangan dari Computational Fluid Dynamic (CFD). Jika dalam CFD hanya menggunakan persamaan aliran, kekekalan massa dan kekekalan momentum untuk menyelesaikan suatu model aliran, maka pada CPFD ditambahkan metode discrete particle. Hal ini dilakukan untuk mengakomodasi adanya interaksi antar partikel dan gas partikel

## 3. Metode Penelitian

### 3.1 Rancangan Penelitian

Metode pendekatan secara pemodelan ini dilakukan sesuai dengan tujuan pelaksanaan penelitian yang ingin meneliti bagaimana pengaruh variasi laju udara fluidisasi terhadap volume fraksi pada pembakaran dual reaktor fluidized bed. Dalam penelitian ini, hasil penelitian diperoleh melalui perbandingan kondisi fluidisasi dari tiap variasi kecepatan udara fluidisasi yang telah ditentukan.

### 3.2 Variabel Penelitian

#### 3.2.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang dapat mempengaruhi timbulnya variabel terikat yang besarnya ditentukan oleh peneliti sebelum penelitian dilakukan. Adapun variable bebas pada penelitian ini yaitu

- variasi kecepatan udara 12 m/s
- variasi kecepatan udara 13 m/s
- variasi kecepatan udara 14 m/s

#### 3.2.2 Variabel Terikat

Varibel terikat adalah variabel yang besarnya muncul akibat adanya pengaruh dari variabel bebas. Dalam penelitian kali ini variabel terikat yang dihasilkan yaitu volume fraksi yang terjadi didalam reaktor pada saat proses simulasi berlangsung menggunakan Software CPFD Barracuda Virtual Reactor.

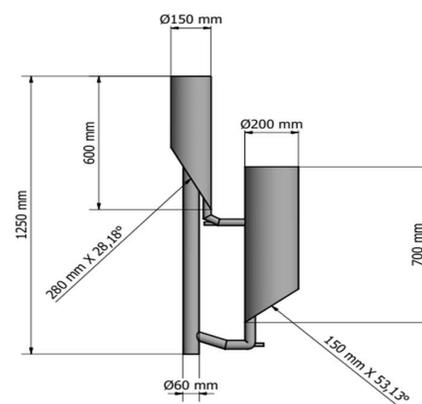
#### 3.2.3 Variabel Kontrol

Variabel Kontrol adalah variabel yang dikendalikan sehingga hubungan variabel bebas terhadap variabel terikat tidak dipengaruhi oleh faktor luar yang tidak diteliti. Dalam penelitian ini variabel kontrol sebagai berikut :

- Suhu Operasional 850 °C
- Tekanan udara dalam fluidisasi sebesar 1 atm
- Simulasi dilakukan selama 60 detik
- Massa pasir silika 3 kg
- Massa RDF 1 kg

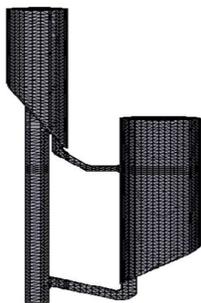
### 3.3 Desain Geometri

Desain geometri yang digunakan pada penelitian ini mengikuti bentuk asli dari *dual reaktor fluidized bed* yang ada pada lab NRCE. Berikut desain geometri yang dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2. Desain Geometri

Grid yang digunakan pada penelitian yaitu grid seragam dengan jumlah *cell* 190624*cell*. Berikut hasil gridding yang dapat dilihat pada gambar berikut:

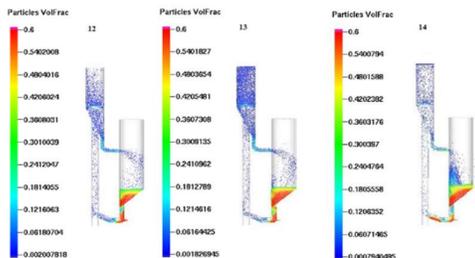


Gambar 3. Hasil Gridding

#### 4. Hasil dan Pembahasan

##### 4.1 Distribusi Fraksi Volume Pada Reaktor

Distribusi fraksi volume partikel merupakan salah satu hasil dari simulasi yang telah dilakukan menggunakan variasi kecepatan udara 12 m/s, 13 m/s, dan 14 m/s yang diamati selama 30 detik. Hal ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pergerakan partikel yang terjadi pada kedua reaktor saat proses fluidisasi. Berikut distribusi fraksi volume partikel selama simulasi berlangsung.



Gambar 4. Distribusi Fraksi Volume Partikel



Gambar 5. Grafik Hubungan Kecepatan Udara Terhadap Fraksi Volume

Partikel yang bersirkulasi pada kedua reaktor di setiap variasi kecepatan udara menunjukkan perbedaan pergerakan pada

reaktor. Berdasarkan dari grafik pada gambar 5 di atas dapat dilihat nilai fraksi volume tertinggi didapatkan pada variasi kecepatan 12 m/s dengan nilai 0.002007818, dan nilai fraksi volume terendah didapatkan pada kecepatan 14 m/s dengan nilai 0.000794049. Berdasarkan grafik diatas maka diketahui bahwa, semakin tinggi nilai kecepatan udara maka semakin rendah nilai partikel volume fraction yang dihasilkan. Hal ini disebabkan oleh gaya dorong dari suplai udara yang lebih tinggi terhadap partikel bed yang mengakibatkan partikel lebih cepat bersirkulasi. Ketika kecepatan fluidisasi meningkat, aliran partikel menjadi lebih bergejolak dan pusaran besar dipaksa untuk pecah menjadi pusaran kecil. [8]

#### 5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan tentang simulasi pengaruh kecepatan udara fluidisasi terhadap volume fraction pada gasifikasi dual reaktor fluidized bed menggunakan software CFPD barracuda virtual reactor, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kecepatan udara fluidisasi yang digunakan maka semakin rendah nilai fraksi volume yang dihasilkan, dimana nilai fraksi volume tertinggi dihasilkan pada variasi kecepatan 12 m/s yaitu dengan nilai 0,002007818 dan nilai fraksi volume terendah dihasilkan pada variasi kecepatan 14 m/s yaitu dengan nilai 0,000794049.

#### Daftar Pustaka

- [1] R. R. Al Hakim, "Model Energi Indonesia, Tinjauan Potensi Energy Terbarukan Untuk Ketahanan Energi Di Indonesia: Literatur Review," *ANDASIH J. Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–11, 2020.
- [2] D. Riansyah and D. H. Sutjahjo, "Pengaruh Variasi Air Fuel Ratio (Afr) Pada Gasifier Terhadap Kuantitas Nyala Api Syn Gas Pada Gasifikasi Biomassa Cangkang Sawit," pp. 37–42, 2019.
- [3] T. M. Ismail, A. Ramos, E. Monteiro, M. A. El-Salam, and A. Rouboa, "Parametric studies in the gasification agent and fluidization velocity during oxygen-enriched gasification of biomass in a pilot-scale fluidized bed: Experimental and numerical assessment," *Renew. Energy*, vol. 147, pp. 2429–2439, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2019.10.029.
- [4] R. Timsina, R. K. Thapa, B. M. E. Moldestad, and M. S. Eikeland, "Computational particle fluid dynamics simulation of biomass gasification in an

- entrained flow gasifier,” *Chem. Eng. Sci. X*, vol. 12, p. 100112, 2021, doi: 10.1016/j.cesx.2021.100112.
- [5] J. I. Córcoles, A. Acosta-Iborra, J. A. Almendros-Ibáñez, and C. Sobrino, “Numerical simulation of a 3-D gas-solid fluidized bed: Comparison of TFM and CPFD numerical approaches and experimental validation,” *Adv. Powder Technol.*, vol. 32, no. 10, pp. 3689–3705, 2021, doi: 10.1016/j.appt.2021.08.029.
- [6] P. Basu, *Circulating fluidized bed boilers: Design, operation and maintenance*. 2015. doi: 10.1007/978-3-319-06173-3.
- [7] I. W. Arya Darma, I. N. S. Winaya, and I. K. G. Wirawan, “Studi Pengaruh Temperatur Reaktor Gasifikasi Terhadap Fuel Conversion Rate Gasifikasi Dual Reactor Fluidized Bed,” *J. METTEK*, vol. 4, no. 2, p. 37, 2018, doi: 10.24843/mettek.2018.v04.i02.p01.
- [8] M. L. Huolong Liu, Seongkyu Yoon, “Three-dimensional Computational Fluid Dynamics (CFD) Study of the Gas-particle Circulation Pattern within a Fluidized Bed Granulator: by Full-Factorial Design of Fluidization Velocity and Particle Size Huolong,” *Anal. Biochem.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–5, 2018.

	<p><b>Muhammad Yusuf Wibisono</b> adalah mahasiswa studi S1 di Universitas Udayana dari tahun 2019. Saat ini topik penelitian yang diambil sebagai tugas akhir studi S1 tentang simulasi dari Dual Reactor Fluidized Bed.</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan mesin pembakaran dalam, gasifikasi dan topik yang berkaitan dengan termodinamika.</p>	

# Pengaruh Variasi Waktu Penahanan pada Proses Artificial Aging Terhadap Kekerasan Al-7Si

Putu Hendri Yudarsana, I Ketut Gede Sugita, Ni Made Dwidiani  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

*Paduan Al-7Si adalah paduan yang banyak digunakan dalam komponen otomotif seperti piston dan silinder head. Karakteristik sifat mekanik yang diperlukan guna bahan dasar membuat sebuah engine yakni kekerasan, kekuatan serta tahan pada deformasi pada temperatur tinggi. Upaya yang bisa dilaksanakan guna menaikkan kekerasan dari paduan Al-7Si yaitu menjalankan proses artificial aging. Pada penelitian ini dilakukan proses artificial aging dengan variasi waktu tahan 1jam, 2jam, 3jam, 4jam dan 5jam dengan temperatur penahanan 150°C dan selanjutnya di uji kekerasan dan struktur mikronya. Hasil pengujian kekerasannya didapat nilai kekerasan Al-7Si meningkat seiring peningkatan variasi waktu penahanannya. Nilai kekerasan tertinggi didapat pada spesimen dengan waktu penahanan 5jam dengan nilai rata-rata kekerasan vickers yaitu 158,31 VHN dan nilai kekerasan terendah diperoleh sebesar 115,6 VHN dengan waktu penahanan 1 jam.*  
Kata kunci: Aluminium, Silikon, Artificial Aging, Kekerasan.

## Abstract

*Al-7Si alloy is a widely used alloy in automotive components such as pistons and cylinder heads. The mechanical properties required for the basic material for making an engine are hardness, strength and resistance to deformation at high temperatures. Efforts can be made to increase the hardness of the Al-7Si alloy by conducting an artificial aging process. In this study, the artificial aging process was carried out with a variation of holding time of 1 hour, 2 hours, 3 hours, 4 hours and 5 hours with a holding temperature of 150°C and then tested for hardness and microstructure. The hardness test results showed that the Al-7Si hardness value increased as the holding time variation increased. The highest hardness value is obtained in specimens with a holding time of 5 hours with an average value of Vickers hardness of 158.31 VHN and the lowest hardness value is obtained at 115.6 VHN with a holding time of 1 hour.*  
Keywords: Aluminum, Silicon, Artificial Aging, Hardness.

## 1. Pendahuluan

Bahan teknik umumnya bisa dibagi jadi 2 kategori utama: non-logam serta logam. Logam dibedakan lagi menjadi dua sub-kategori, yaitu logam ferrous (fero) dan non-ferrous (non fero). Sekarang, logam ferrous semacam baja serta besi tengah menjadi pilihan utama saat desain mesin dan konstruksi. Sementara itu, penggunaan logam non-ferro, terutama aluminium, semakin naik setiap tahun. Hal itu tampak dari peningkatan penggunaan paduan aluminium kini menduduki peringkat 2 sesudah baja ataupun besi serta menjadi yang teratas dalam kategori logam non-ferro [1].

Mulai tahun 1980 pemakaian aluminium dalam industri otomotif semakin mengalami peningkatan [2]. Aluminium banyak diterapkan dalam komponen otomotif, terutama pada bagian mesin yang harus tahan terhadap suhu tinggi, semacam kepala silinder serta piston pada mesin pembakaran. Sifat mekanik yang penting untuk bahan pembuatan piston yakni kekerasan, kekuatan, serta ketahanan pada deformasi pada suhu tinggi. Sifat-sifat ini sangat diperlukan karena piston bekerja dalam kondisi yang sangat berat.

Pada paduan Al-Si, silikon (Si) berfungsi sebagai faktor utama serta punya berbagai sifat unggul, seperti: mampu menghantarkan panas serta listrik, ketahanan terhadap hot shortness, permukaan yang halus, tahan karat, ringan, memiliki koefisien pemuaian yang rendah, serta fluiditas yang bagus [3].

Menambah faktor pepadu lain serta perlakuan panas semacam Mg, Cu serta Ni bisa meningkatkan sifat baik (silumin) [4].

Metode pemanasan hingga mencapai suhu tertentu, selanjutnya didinginkan dengan metode tertentu guna meningkatkan sifat material didefinisikan sebagai proses perlakuan panas (heat treatment) [5]. Melalui proses heat treatment age hardening (penuaan keras) yakni metode guna menaikkan sifat mekanis logam paduan aluminium. Dengan age hardening, diharapkan terjadi perubahan pada sifat mekanis logam, khususnya kekerasan dan kekuatannya. Proses ini terdiri dari 3 tahapan: solution heat treatment, quenching, serta artificial aging. Proses pemanasan ulang larutan padat jenuh pada suhu dibawah garis solvus serta mempertahankannya pada suhu itu selama waktu tertentu didefinisikan sebagai artificial aging. Metode tersebut efektif dalam meningkatkan kekuatan paduan aluminium.

Riset penulis dilakukan bermaksud guna mengetahui bagaimana pengaruh waktu penahanan pada proses artificial aging pada kekerasan dengan memvariasikan waktu tahan dan temperatur penahanannya pada paduan Al-7Si.

Agar mendapatkan hasil penelitian yang diinginkan, dirumuskan beberapa batasan masalah yang didapatkan dalam melaksanakan penelitian ini, sebagai berikut :

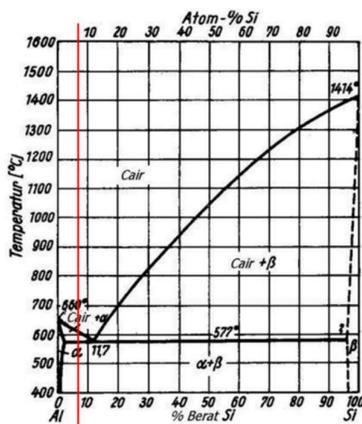
1. Bahan yang digunakan adalah komposisi paduan homogen Al-7Si.
2. Media pendingin proses solution treatment adalah air.
3. Temperatur artificial aging dalam rentang 150°C.
4. Temperatur ruang dalam rentan 20-27°C.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Paduan Al-Si

Paduan Al-Si memiliki fluiditas yang sangat baik dan permukaan yang halus, tanpa penggetasan panas, sehingga sangat cocok untuk aplikasi pengecoran. Selain itu, paduan Al-Si juga memiliki ketahanan korosi yang baik, koefisien muai yang rendah, ringan serta memiliki konduktivitas termal dan listrik yang baik.

Paduan Al-Si yang diberi perlakuan panas disebut silumin. Sifat-sifat silumin ditingkatkan secara signifikan dengan perlakuan panas dan sedikit oleh penambahan elemen paduan. Paduan Al-Si biasanya mengandung 0,15% hingga 0,4% Mn dan 0,5% Mg. Paduan yang menjalani perlakuan pelarutan (solution heat treatment), quenching, dan aging dikenal sebagai silumin  $\gamma$ , sedangkan paduan yang hanya mengalami perlakuan aging disebut silumin  $\beta$ . Paduan Al-Si yang membutuhkan perlakuan panas sering kali ditambahkan dengan Mg, Cu, dan Ni untuk meningkatkan kekerasan saat panas. Bahan paduan ini sering digunakan untuk membuat piston mesin. [6].



Gambar 1. Diagram fasa Al-Si

Pada diagram fasa Al-Si (Gambar 2.1) di atas, ditampilkan diagram fasa sistem Al-Si yang menunjukkan berbagai fase untuk seluruh paduan Al-Si dalam rentang suhu 40°C-1600°C. Dalam diagram tersebut,  $\alpha$  (struktur kristal fcc) dan  $\beta$  (struktur kristal bcc) menggambarkan dua fase yang berbeda, masing-masing mewakili fase Al dan Si. Dari diagram ini, bisa dianalisa bahwa paduan yang mengandung sekitar 98% Al dan 2% Si dipanaskan secara perlahan dari suhu kamar hingga 1600°C.

### 2.2 Heat Treatment

Proses perlakuan panas (Heat Treatment) merupakan metode perubahan sifat logam dengan merubah struktur mikro lewat pemanasan dan kontrol laju pendinginan, baik dengan atau tanpa mengubah susunan kimia logam tersebut. Maksud dari perlakuan panas adalah mendapatkan sifat logam yang diinginkan. Proses ini mungkin bisa merubah sifat logam secara menyeluruh atau hanya sebagian saja.

Proses heat treatment meliputi :

1. Heating
2. Holding
3. Cooling

### 2.3 Perlakuan Panas Aluminium

Perlakuan panas (Heat Treatment) ialah metode untuk memperlakukan logam paduan aluminium, salah satunya melalui penuaan keras (age hardening). Kekuatan serta kekerasan yang lebih baik akan didapatkan oleh paduan aluminium dengan adanya penuaan keras. Istilah penuaan keras telah menjadi istilah resmi menggantikan istilah lain yang sering dipakai, meliputi pememperan atau pemuliaan keras. Age hardening pada paduan aluminium terbagi menjadi dua jenis: age hardening pada suhu dingin dan pada suhu panas. Ada 3 tahapan ketika proses penuaan keras berlangsung, yakni:

1. Tahap Perlakuan Panas Pelarutan (Solution Heat Treatment)

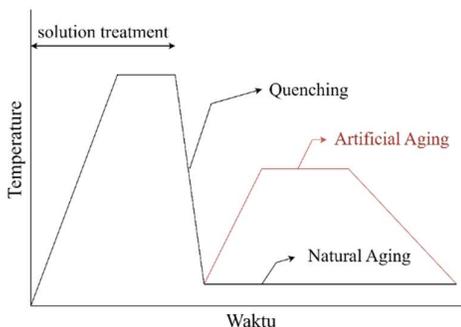
Tahapan awal di proses age hardening ialah perlakuan panas pelarutan (solution heat treatment). Tahapan ini melibatkan pemanasan logam aluminium pada oven dengan suhu 500°C-560°C, dengan penahanan waktu yang disesuaikan berdasarkan jenis dan ukuran benda kerja. [7].

2. Tahap Pengejut Pendinginan (Quenching)

Proses Quenching ialah pendinginan logam yang sudah dipanaskan di oven ke media pendingin. Proses pendinginan ini dilakukan dengan cepat, menurunkan suhu dari suhu pemanasan ke suhu yang lebih rendah, biasanya mendekati suhu kamar. Quenching bertujuan untuk mempertahankan homogenitas larutan padat yang terbentuk selama perlakuan panas larutan serta menjaga kestabilan kekosongan atom dalam keseimbangan termal di suhu tinggi.

3. Tahap Penuaan (Aging)

Tahap selanjutnya ialah aging atau penuaan. Munculnya perubahan karakteristik dari waktu ke waktu sering disebut penuaan. Pada paduan aluminium, aging terbagi menjadi 2 jenis: penuaan alami (natural aging) serta buatan (artificial aging).



Gambar 2. Diagram Proses Perlakuan Panas

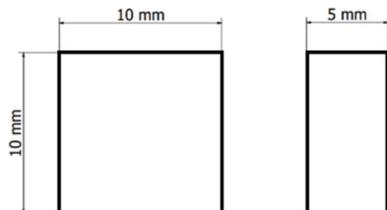
2.4 Kekerasan

Salah satu sifat mekanik yang dimiliki suatu material ialah kekerasan. Penting untuk mengetahui kekerasan suatu material, terutama jika material tersebut akan mengalami gesekan dan deformasi plastis selama penggunaannya. Deformasi plastis terjadi ketika material diberikan gaya serta tak mampu kembali ke bentuk semula. Secara sederhana, kekerasan dapat diartikan dengan kesanggupan suatu material dalam menopang beban indentasi atau penetrasi.

3. Metodologi Penelitian

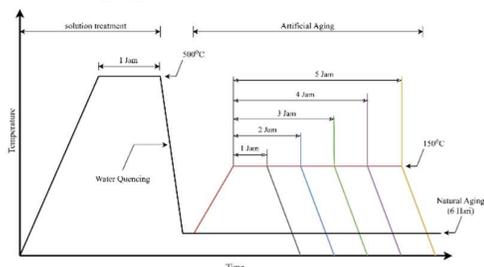
3.1. Pembentukan Spesimen Uji

Sebelum dilakukan proses aging spesimen dipotong terlebih dahulu dengan panjang 10 mm dan ketebalan 5 mm.



Gambar 3. Ukuran Spesimen Uji

3.2. Proses Aging



Gambar 4. Proses Aging

Pemberian panas pelarutan (solution heat treatment) pada material selama 1 jam dengan temperatur 500°C, lalu di quenching di media air dengan kisaran suhu 20-27°C serta waktu delay 10 detik.

Kemudian pemberian perlakuan pemanasan artificial aging (T=150 0C, variasi lama waktu

penahanan adalah 1, 2, 3, 4, dan 5jam) dan proses natural aging dengan waktu penahanan 6 hari.

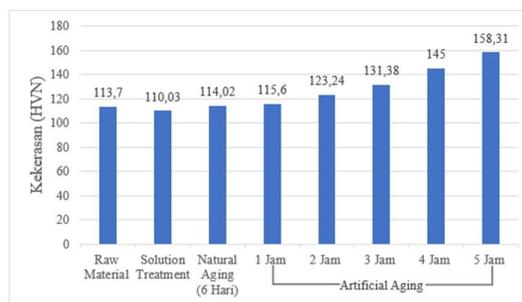
3.3. Pengujian Kekerasan

Metode yang dipakai dalam uji ini ialah metode kekerasan Vickers dengan memakai indenter yang dengan bentuk piramida intan, serta sudut antar permukaan piramida yang saling berhadapan sebesar 136°. Proses pengujian kekerasan mengikuti standar ASTM E 92.

Proses pengujian kekerasan pada setiap spesimen hasil coran dilakukan pengujian sebanyak 3 titik indentasi, selanjutnya nilai kekerasan yang diambil pada satu spesimen merupakan rata – rata dari nilai hasil pengujian pada ke tiga titik tersebut.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Pengujian Kekerasan



Gambar 5. Grafik Nilai Rata-Rata Pengujian Hardness Vickers

Hasil pengujian kekerasan pada raw material setelah menjalani proses solution treatment dan quenching menunjukkan bahwa nilai kekerasan mengalami penurunan sebesar 3,67 VHN yang sebelumnya nilai kekerasan pada raw material sebesar 113,7 VHN menjadi 110,03 VHN. Hal ini disebabkan material tersebut masuk ke fase larutan jenuh (super saturated solid solution  $\alpha$ ) setelah proses quenching, yakni terjadi peregangan pada butiran (grain), akibatnya paduan aluminium lebih melunak. [8].

Setelah menjalani proses perlakuan panas dengan metode artificial aging, kekerasan meningkat seiring bertambahnya waktu penahanan yang dilakukan.. Pada waktu penahanan 1 jam nilai kekerasan meningkat dengan rata-rata kekerasan yang sebelumnya pada proses solution treatment memiliki kekerasan sebesar 110,03 VHN meningkat menjadi 115,6 VHN. Pada waktu penahanan 2 jam nilai kekerasan meningkat kembali dengan rata-rata kekerasan 123,24 VHN. Pada waktu penahanan 3 jam nilai kekerasan meningkat kembali dengan rata-rata kekerasan 131,38 VHN. Pada waktu penahanan 4 jam nilai kekerasan meningkat kembali dengan rata-rata kekerasan 145 VHN. Pada waktu penahanan 5 jam nilai kekerasan meningkat kembali dengan rata-rata kekerasan 158,31 VHN. Hal ini terjadi karena butiran (grain) pada material selama proses artificial aging, mulai saling merekat, akibatnya mendorong

terjadinya proses pengerasan (age hardening) di presipitat material.

Pada proses natural aging nilai kekerasan pada material juga mengalami peningkatan tetapi tidak signifikan nilai kekerasan yang terjadi pada proses artifial aging yang mana pada proses natural aging nilai kekerasan hanya mengalami kenaikan sebesar 0,32 VHN, yang sebelumnya nilai kekerasan pada raw material sebesar 113,7 VHN menjadi 114,02 VHN. Hal tersebut dikarenakan waktu dari penahanan (holding time) pada proses natural aging yang kurang lama.

## 5. Kesimpulan

Berlandaskan hasil riset yang peneliti lakukan, mampu diambil simpulan bahwa proses artificial aging mampu menaikkan nilai kekerasan seiring dengan penambahan waktu penahanan (holding time). Saat perlakuan artificial aging, kekerasan terendah diperoleh dengan holding time 1 jam, yaitu 115,6 VHN, sementara kekerasan tertinggi dicapai pada holding time 5 jam, yaitu 158,31 VHN.

## Daftar Pustaka

- [1] Smith, William F., 1995, *Principles of Materials Science and Engineering*, (Vol. 2). McGraw-Hill, inc.
- [2] Budinski, K. G., Michael K., 2001. *Engineering Material: Properties and Selection* (Vol. 7). Prentice Hall, inc.
- [3] Kaiser, 1979. *Casting Kaiser Aluminum*, (Vol. 3). Oakland, California, Kaiser Aluminum and Chemichal Sales, Inc.
- [4] Kalpakjian, S., 1997. *Manufacturing Process for Engineering Material*, (Vol. 3). California: Addisson Wesley Publishing Company, Inc.
- [5] Sumpena, Wardoyo., 2018. *Pengaruh Variasi Temperatur Hardening dan Tempering Paduan AlMgSi-Fe12% Hasil Pengecoran terhadap Kekerasan*. Jurnal Engine. Universitas Proklamasi 45. Yogyakarta.
- [6] Surdia, T., & Saito, S., 1984. *Pengetahuan Bahan Teknik*. (cetakan ketiga). Pradnya Paramita, Jakarta.
- [7] Schonmetz., 1990. *Pengetahuan Bahan Dalam Pengerjaan Logam*. (Cetakan kesepuluh). Angkasa, Bandung.
- [8] Surdia, Tata., Saito, Shinroku., 1992. *Pengetahuan Bahan Teknik*. (edisi kedua). Pradnya Paramita, Jakarta.



# Karakteristik Laju Korosi Pada Paduan *High Tin Bronze* Akibat Variasi Penambahan Timah Putih

I Gede Sanjaya, I Ketut Gede Sugita, DNK Putra Negara  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit, Jimbaran Bali

## Abstrak

*Perunggu merupakan material yang sudah digunakan sudah sejak ratusan tahun yang lalu digunakan sebagai material alat musik. Perunggu adalah paduan antara logam tembaga (Cu) dan timah (Sn). Kelemahan pada perunggu adalah salah satunya bentuk korosi yang menyerang permukaan perunggu. Kelemahan dari material perunggu ini dapat dilihat dari materialnya yang berbetuk zat hijau bubuk pada permukaan logam atau sebagai lapisan berkulit atau lilin di atas permukaan perunggu. Penelitian ini menggunakan metode kehilangan berat material untuk mengetahui laju korosi pada material high tin bronze ini dan menggunakan beberapa larutan pengkorosif untuk mempercepat terjadinya laju korosi pada material high tin bronze. Larutan yang di gunakan dalam penelitian ini yaitu : HCl, NaCl, HNO<sub>3</sub> , Air. Dari material haig tin bronze yang digunakan dalam penelitian ini, dapat di ketahui bahwa semakin tinggi kandungan tembaga (Cu) maka laju korosi yang di timbulkan akan semakin tinggi, sedangkan semakin tinggi kandungan Timah putih (Sn) maka laju korosi yang di timbulkan akan semakin rendah.*

*Kata Kunci : Perunggu, Laju Korosi, Higt Tin Bronze, Larutan HCl, NaCl, HNO<sub>3</sub>, Air*

## Abstract

*Bronze is a material that has been used since hundreds of years ago used as a musical instrument material. Bronze is an alloy between the metals copper (Cu) and tin (Sn). Weakness in bronze is one form of corrosion that attacks the surface of bronze. The weakness of this bronze material can be seen from the material which is in the form of a powdery green substance on the metal surface or as a warty or waxy layer on the bronze surface. This study uses the material weight loss method to determine the corrosion rate of this Higt Tin Bronze material and uses several corrosive solutions to accelerate the corrosion rate of Higt Tin Bronze material. The solutions used in this study are: HCl, NaCl, HNO<sub>3</sub> , Water. From the haig tin bronze material used in this study, it can be seen that the higher the copper content (Cu), the corrosion rate caused will be higher, while the higher the white tin content (Sn), the corrosion rate caused will be lower.*

*Keywords: Bronze, Corrosion Rate, Higt Tin Bronze, HCl Solution, NaCl, HNO<sub>3</sub>, Water*

## 1. Pendahuluan

Penggunaan paduan tembaga, terutama perunggu, telah dikenal sejak ilmu metalurgi diperkenalkan pada masyarakat perkiraan abad ke-9 dan ke-10 (Srinivasan et al., 2007). Perunggu, paduan antara tembaga (Cu) dan timah (Sn), telah digunakan selama ratusan tahun, terutama sebagai material untuk alat musik. Paduan perunggu yang terdiri dari 10%, 14%, dan 20% Sn biasanya diterapkan dalam membuat patung, perlengkapan militer, serta peralatan musik seperti gamelan, simbal, dan lonceng. Material perunggu timah (Cu-Sn) telah digunakan dalam membuat lonceng gereja selama bertahun-tahun (Audy & Audy, 2008).

*High tin bronze*, yaitu paduan perunggu timah putih dengan 18-22% Sn, memiliki karakteristik akustik yang bagus, mampu bergetar yang lama dan menghasilkan bunyi yang panjang. Karena retak dan patah sering terjadi, masalah ini sangat penting pada lonceng, gamelan Jawa, maupun gamelan Bali (Sugita, 2017).

Salah satu kelemahan perunggu adalah korosi yang menyerang permukaannya. Korosi ini ditandai dengan munculnya zat hijau bubuk atau lapisan berkulit di permukaan logam. Perubahan ini, meskipun menyerupai patina alami, bukan diakibatkan oleh bakteri, melainkan reaksi kimia kompleks. Korosi pada perunggu mirip dengan karat pada besi, tetapi perunggu memiliki lapisan pelindung yang melindungi inti dalamnya, sedangkan besi tidak. Akibatnya, korosi pada perunggu hanya terjadi di lapisan luar, sementara besi mudah berkarat sampai ke inti (Sugita, 2017).

Korosi merupakan musuh besar dalam dunia industri, terutama untuk produk berbahan dasar logam. Ketahanan terhadap korosi sangat penting, dan korosi didefinisikan sebagai kualitas logam menurun sebagai hasil dari reaksi elektrokimia dengan lingkungannya (Trethway, K.R., & Chamberlain, J., 1991). Korosi pada perunggu disebabkan oleh reaksi melingkar yang melibatkan klorida dari paduan tembaga dan air. Reaksi ini dapat dimulai dalam satu hari

yang lembab, memicu rantai destruktif pada perunggu. Proses korosi melibatkan kupro klorida dalam paduan tembaga yang bereaksi dengan air, menghasilkan asam klorida yang menggerogoti perunggu (Scott, David, 1990).

Korosi dapat terjadi pada logam ferrous (mengandung besi) dan non-ferrous (tidak mengandung besi), dan meskipun tidak dapat dikendalikan, korosi dapat dicegah. Penurunan mutu logam melibatkan reaksi kimia dan elektrokimia, di mana bahan yang bersangkutan mengalami perpindahan elektron. Material high tin bronze, dengan perbandingan tembaga dan timah 10:3, sering digunakan dalam seni, terutama gamelan, karena sifat akustik dan ketahanan korosinya yang baik, serta tidak mudah teroksidasi (Sintesis dan Karakterisasi, A.K. Prodjosantoso dkk, 2020).

Penelitian tentang laju korosi pada paduan high tin bronze dengan variasi penambahan timah putih dilakukan karena belum adanya penelitian sebelumnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan timah putih terhadap laju korosi high tin bronze dan mempelajari struktur mikro pada variasi korosi yang terjadi pada material tersebut. Untuk mencapai hasil yang diharapkan dari banyaknya masalah yang ada, maka pembatasan, antara lain:

1. Variasi paduan Cu -15%Sn, Cu - 20%Sn, Cu – 25%Sn.
2. Laju korosi diteliti adalah material *High Tin Bronze* akibat variasi penambahan timah putih ( Sn ).
3. Menentukan laju korosi berdasarkan variasi zat pengkorosi yang digunakan dalam mengkorosi material *High Tin Bronze*.
4. Kondisi atau tempratur ruang yang digunakan 25°C .
5. Metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah kehilangan berat ( *Weight Gain Loss* ).

## 2. Dasar Teori

### 2.1. Pengertian Logam paduan (*Non ferro*)

Logam tanpa unsur besi (Fe) disebut logam *non ferro*. Logam non-ferro murni biasanya diterapkan dalam kombinasi dengan logam lain, karena karakteristiknya biasanya tidak memenuhi persyaratan. Perak, emas, platina, dan logam non-ferro murni tidak dapat dipadukan karena sifatnya yang unggul, contohnya, daya hantar listrik yang kuat dan tahan kimia, untuk memungkinkannya digunakan dalam keadaan murni. Namun karena biayanya yang tinggi, ketiga jenis logam ini hanya digunakan untuk keperluan tertentu. Misalnya, dalam teknik proses dan laboratorium, selain

memiliki pakaian tertentu seperti perhiasan (Achmad et al., 2016).

### 2.2. Perunggu

Logam Perunggu merupakan paduan antara logam tembaga (Cu) dan timah putih (Sn), yang disebut paduan Cu-Sn. Dimana paduan ini merupakan paduan umum dari tembaga di dunia industry seperti industry gambelan bali. 88% perunggu terbuat dari tembaga dan 12% timah. Titik lebur perunggu bervariasi tergantung pada bagaimana bagian-bagiannya dibandingkan. Perunggu tidak dapat ditarik magnet dan biasanya memiliki titik lebur 950 °C. Namun magnet juga dapat ditarik jika ditambahkan besi atau nikel saat dibuat. Perunggu ini banyak digunakan di industri karena lebih kuat daripada logam tembaga. Banyak digunakan sebagai kincir kapal dan komponen kapal yang berhubungan dengan air laut karena perunggu tahan terhadap korosi air laut. Perunggu juga banyak digunakan untuk membuat prasasti, gong, gamelan, dan medali (Sugita, 2017).

### 2.3. Logam Tembaga

Salah satu jenis logam berat yang ditemukan di alam adalah tembaga (Cu). Umumnya logam Cu kuning kemerahan (orange). Tingkat didih logam Cu adalah sekitar 2595°C, dan titik lelehnya adalah 1083°C (MSDS, 2013). Salah satu logam dari golongan transisi IB bernomor atom 29 adalah Cu. Ion Cu<sup>2+</sup> dengan jari-jari 0,96 Å dapat dibentuk dalam larutan logam Cu. Jika logam ini digunakan dalam jumlah yang melebihi ambang batas, itu dapat menyebabkan keracunan (Penentuan Kadar Tembaga (Cu) Dalam Sampel, 2022.). Meskipun tembaga cor memiliki kekuatan tarik 150 N/mm<sup>2</sup>, kekuatan tarik tembaga dapat meningkat hingga 390 N/mm<sup>2</sup>. Kekerasan tembaga cor berkisar antara 45 HB dan 90 HB selama proses pengerjaan dingin, dengan cara ini, sifat ulet tembaga akan dipertahankan bahkan setelah perlakuan panas, seperti tempering (Lihat Heat treatment) (Poedji Haryanto, 2018).

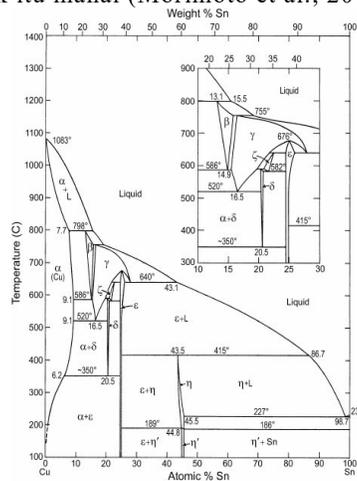
### 2.4. Timah (Sn)

Timah atau *stannum* (Sn) merupakan logam yang dapat ditempa dan diliat pada suhu normal, tetapi pada suhu rendah menjadi getas. Logam ini dapat dengan lambat larut dalam asam klorida dan asam sulfat encer untuk membentuk garam-garam timah. Ion timah dan amonium terbentuk setelah asam nitrat encer melarutkan timah dengan lambat tanpa mengeluarkan gas. Timah dan asam nitrat pekat bereaksi keras, menghasilkan zat padat berwarna putih, umumnya dirancang menjadi timah oksida terhidrasi SnO<sub>2</sub>.xH<sub>2</sub>O atau asam metastanat.  $3 \text{ Sn} + 4 \text{ HNO}_3 + (x - 2) \text{ H}_2\text{O} \rightarrow 4 \text{ NO} \uparrow + 3 \text{ SnO}_2 \cdot x \text{ H}_2\text{O} \downarrow$  Panas dalam asam sulfat, ion

timah timbul saat pelarutan. Air raja dapat memecah timah dan menghasilkan ion stani atau timah. 7

## 2.5. Paduan Cu-Sn

Paduan Cu-Sn sudah lama digunakan dalam dunia industry, paduan ini sudah berumur lebih dari 170 tahun, dengan aktivitas dilaporkan sejak sekitaran tahun 1842. Lapisan paduan Cu-Sn sudah sering digunakan untuk menghindari penggunaan nikel dalam jumlah yang banyak dikarenakan jika menggunakan jumlah nikel yang terlalu banyak maka harga produksi dari suatu produk itu mahal (Morimoto et al., 2018).

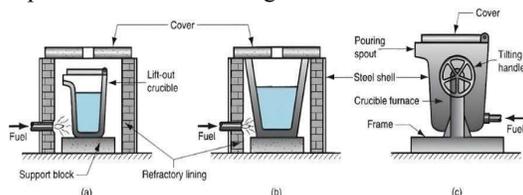


**Gambar 2.1 Diagram Equilibrium Sistem Biner Paduan Cu-Sn**

## 2.6. Pengecoran

Pengecoran atau casting adalah metode pembuatan barang di mana logam dipanaskan hingga meleleh, kemudian dituangkan masukkan ke dalam cetakan dalam bentuk produk yang dimiliki. Alur pengecoran melibatkan banyak tahapan: pembuatan: pola cetak, dan rongga cetakan pasir, peleburan dan penuangan logam cair pada cetakan, pembekuan logam, dan pembongkaran serta pembersihan produk cor. Cetakan pasir untuk pengecoran, atau sand casting, Karena murah dan memiliki desain yang rumit, banyak digunakan dalam industri pengecoran aluminium.

Sand casting melibatkan tiga jenis cetakan pasir: cetakan pasir basah (green-molding sand) yang merupakan kombinasi pasir, lempung, dan air; cetakan kulit kering (skin-dried molds) karena kekuatan cetakan besar; dan cetakan pasir kering (dry-sand molds) yang dibuat dari pasir kasar yang dikombinasikan dengan bahan pengikat dan dipanaskan sebelum digunakan. Media cetak



yang sering digunakan adalah pasir pantai, pasir pegunungan, dan pasir silika buatan dari kwarsit.

## 2.7. Media cetak

Media cetak atau sand casting adalah metode pengecoran logam dengan menuangkan logam cair ke dalam cetakan untuk menghasilkan produk jadi (Septa et al., 2015). Tanah lempung, dengan butiran pasir silika kurang dari 4 mikrometer, terbentuk dari pelapukan batuan silika akibat aktivitas panas bumi dan asam karbonat. Tanah lempung berasal dari pasir, debu, dan tanah liat dalam ukuran partikel hampir sama (Solemanriau, 2011). Semakin kecil ukuran butiran pasir, semakin tinggi kekerasannya (Adi Saputra et al., 2019). Media cetak sand casting menggunakan tanah lempung tanpa campuran air untuk memastikan tanah dapat masuk ke bagian terkecil dari pola cetakan, sehingga menghasilkan coran yang lebih padat dan meningkatkan nilai kekerasannya.

## 2.8. Pola cetak

Pola cetak adalah bentuk atau gambaran benda yang akan dibuat dalam proses pengecoran material logam atau lainnya, dan dapat diperoleh menggunakan bahan seperti kayu, plastik, polimer, atau logam, berdasarkan bentuknya dan material yang akan dicetak serta jumlah dan jenis pengecoran (Bhirawa, 2017). Dalam proses pengecoran, terdapat tiga jenis pola cetak utama. Pertama, pola tunggal (one-piece pattern atau solid pattern), yang diterapkan dalam membuat benda coran dengan bentuk sederhana dan jumlah sedikit, biasanya terbuat dari kayu dengan harga yang tidak mahal. Kedua, pola terpisah (split pattern), termasuk dua pola terpisah menghasilkan rongga cetak dari masing-masing pola, memungkinkan pembuatan bentuk coran yang lebih rumit dibandingkan pola tunggal. Ketiga, pola match-plate, yang populer dan banyak diterapkan di industri, adalah pola gabungan dengan bidang datar, di mana pola atas dan bawah dipasangkan berlawanan arah pada plat datar, sering digunakan bersama mesin pembuatan cetakan untuk mempercepat produksi produk kecil.

## 2.9. Tungku krusibel

Tungku krusibel adalah salah satu jenis tungku atau dapur peleburan yang tertua dan penggunaannya paling sederhana dalam pengecoran. Pengecoran krusibel biasanya terbuat dari bahan grafit dengan tanah liat sebagai bahan pengikatnya, tahan lama, dan

memiliki ketahanan temperatur hingga lebih dari 1600 0C. Krusibel adalah wadah dimana nanti logam akan dilebur hingga mencair dalam proses pengecoran. Krusibel ditempatkan di dalam tungku pelebur, setelah peleburan hingga logam mencair kemudian dikeluarkan dari tungku dan dituangkan kedalam cetakan coran.

### Gambar 2.2 Tungku Krusible

#### 2.10. Korosi

Korosi merupakan suatu sistem termodinamika yang berhubungan dengan logam dan lingkungan (air, udara, tanah) yang mengejar keseimbangan. Sistem mencapai kesetimbangan jika logam telah menghasilkan senyawa kimia seperti oksida. Proses korosi yang biasa terjadi adalah reaksi elektrokimia, meskipun reaksi kimia juga terjadi. Lingkungan berkontribusi terhadap korosi mencakup udara yang terkena sinar matahari, embun, air (tawar, laut, danau, sungai), dan berbagai jenis tanah. Korosi dikenal sebagai penyakit dalam dunia teknik karena menyebabkan kerusakan pada produk rekayasa. Penelitian korosi bertujuan untuk mengendalikan kerusakan agar serangannya minimal dan melebihi nilai ekonomis, atau agar logam tidak dibuang sebelum waktunya. Pemeliharaan preventif untuk menghindari serangan korosi lebih ekonomis daripada memperbaiki kerusakan yang biayanya lebih mahal. Korosi bisa berjalan cepat atau lambat tergantung pada material, lingkungan, temperatur, dan faktor lainnya.

#### 2.11. Laju Korosi

Laju reaksi elektrokimia korosi dipengaruhi oleh kecepatan jumlah arus atau reaksi kimia. Komponen elektrik sel korosi dapat menggunakan hukum Ohm. Sejumlah arus yang mengalir melalui sel korosi elektrokimia sebanding dengan tingkat korosi. Suatu perhitungan yang tepat dari kehilangan metal dapat dicapai dengan mengukur arus. Ini menunjukkan bahwa secara matematis dapat menghitung pengukuran ampere atau milliampere setiap tahun dalam kilogram (pound). Satu ampere yang mengalir selama satu tahun disebut ampere tahunan. Laju korosi logam berbeda-beda. Laju korosi material yang terkorosi dapat dihitung dengan mengetahui penurunan massanya (dhian wijaya, 2015).

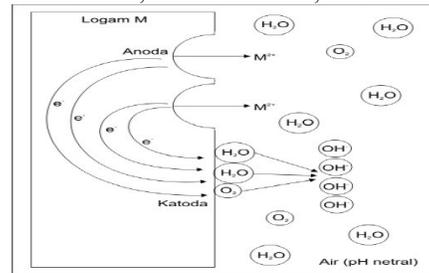
#### 2.12. Faktor – factor yang Mempengaruhi Laju Korosi

Laju korosi dipengaruhi oleh faktor yang sangat penting diperhatikan dalam industri karena berdampak pada hasil akhir dan ketahanan material yang diproduksi. Beberapa laju korosi yang dipengaruhi oleh

komponen lingkungan adalah: suhu, di mana peningkatan suhu meningkatkan laju korosi karena energi kinetik partikel meningkat (Fogler, 1992); kecepatan aliran fluida, yang mempercepat korosi dengan meningkatkan kontak antara zat pereaksi dan logam (Kirk Othmer, 1965); konsentrasi bahan korosi, di mana larutan asam lebih korosif terhadap logam dibandingkan larutan basa (Djaprie, 1995); oksigen, yang meningkatkan korosi saat bersentuhan dengan permukaan logam yang mengandung air (Djaprie, 1995); dan waktu kontak, di mana penggunaan inhibitor dapat memperlambat laju korosi, tetapi efektivitasnya berkurang seiring waktu (Uhlig, 1958).

#### 2.13. Proses Terjadinya Korosi

Korosi adalah kualitas logam menurun sebagai akibat dari reaksi elektrokimia dengan lingkungannya, sel elektrokimia korosi terdiri dari anoda, katoda elektrolit, dan konduktor.



Gambar 2.4 Proses korosi logam dalam lingkungan air sebagai reaksi elektrokimia

#### 2.14. Pengaruh larutan asam terhadap laju korosi

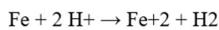
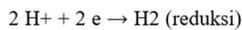
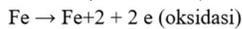
##### 1. HCL ( Asam Clorida )

Korosi logam terpengaruh ion klorida (Cl) dan sulfat (SO4<sup>2-</sup>) serta pH. Ion klorida meningkatkan korosi dengan menghancurkan lapisan pasif logam, sedangkan ion sulfat memiliki pengaruh yang lebih kecil. Ion klorida memiliki efek perusak yang signifikan dan dapat menyebabkan pitting corrosion. Ketika korosi terjadi, reaksi hidrolisis ion logam menurunkan pH dan menghentikan peningkatan lapisan film pasif, mengakselerasi penyebaran korosi.

##### 2. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ( Asam Sulfat )

Efek larutan asam sulfat pada kecepatan korosi meningkat bersama dengan konsentrasinya. Dengan demikian larutan asam sulfat adalah media korosif. Sebagai pengoksidator kuat, asam sulfat memungkinkan logam teroksidasi tidak tetap untuk bereaksi dengan ion hidroksil bermuatan negatif terbentuk sebagai reaksi disosiasi air. Reaksi ini menghasilkan ferihidroksida, yang memiliki kemampuan dalam bereaksi pada ion logam dalam menciptakan endapan ferosferioksida (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), memiliki magnetik dan berwarna kuning

kemerahan, yang mampu diuraikan reaksi berikut (Widharto,2004) :



Selanjutnya,



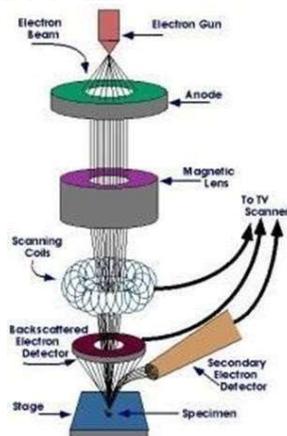
Dijelaskan dari reaksi di atas bahwa jumlah atom yang terlepas dari logam meningkat seiring dengan konsentrasi asam sulfat, yang berarti kecepatan korosi meningkat (Riegher, 1992).

### 3. HNO<sub>3</sub> (Asam Nitrat)

Asam nitrat adalah oksidator yang kuat yang memiliki reaksi cepat dengan sebagian besar bahan organik dan memiliki potensi reaksi eksplosif. Konsentrasi asam, suhu, dan reduktor memengaruhi kualitas produk akhir. Kecuali untuk deret logam mulia dan alloy tertentu, setiap logam dapat mengalami reaksi ini. Asam nitrat digunakan secara luas dalam uji asam karena sifatnya. Asam pekat membentuk nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>), reaksi oksidasi utama.

### 2.15. SEM (Scanning Electron Microscope)

SEM digunakan untuk pengujian struktur mikro maupun studi detail tentang permukaan sel, material konduktor, maupun campuran dan komposit secara tiga dimensi. SEM bekerja dengan menambak elektron dari sebuah *electron gun* ke permukaan spesimen sehingga *backscattered electrons* akan membawa informasi tentang topografi serta properti fisik dan kimia dari spesimen tersebut. Menurut Prasetyo, (2011). SEM dapat melakukan pembesaran 10-3 juta kali, pada kedalaman permukaan 4-0.4 mm dengan resolusi adalah 1-10 nm.



Gambar 2. 5 Prinsip Kerja SEM

### 3. Metode penelitian

Bahan-bahan berikut diperlukan untuk penelitian ini:

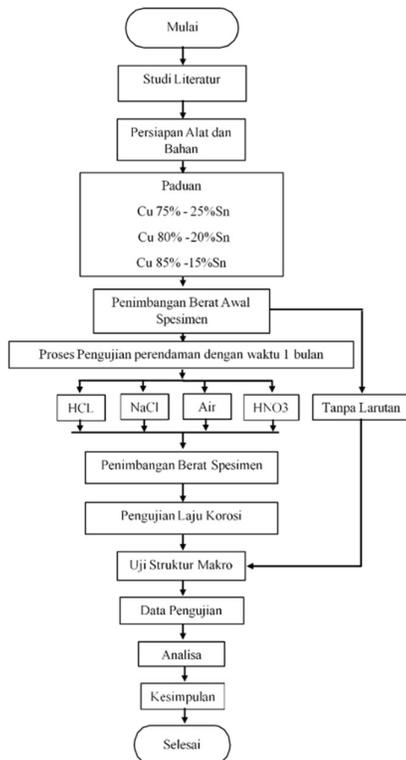
### 3.1. Alat

1. Tungku krusible memanaskan logam hingga mencair.
2. Kowi untuk melebur, mencampur, dan menuang coran kedalam cetakan.
3. Termokopel untuk mengukur temperatur penuangan.
4. Wadah pasir dari kayu untuk tempat pasir cetakan sebagai pembuat pola saluran coran.
5. Timbangan Digital digunakan untuk mengukur masa dari paduan perunggu sebelum dilakukan proses pengecoran dan menentukan berat specimen sebelum dan sesudah perendaman pada media asam dan basa.
6. Alat ukur jangka sorong, untuk mengukur dimensi panjang, lebar, dan tebal dari laju korosi yang terjadi
7. Gregaji Mesin untuk memotong specimen yang sudah dicetak sehingga memudahkan dalam pengujian.
8. Gelas Spesimen digunakan untuk tempat benda uji dalam larutan asam kuat.

### 3.2. Bahan

Bahan yang digunakan antara lain: tembaga yang memiliki berat jenis 7,84 g/cm<sup>3</sup> dan titik lebur 1083°C, timah putih yang memiliki berat jenis 7,3 kg/dm<sup>3</sup> dan titik lebur 232°C, pasir cetak yang digunakan dalam penelitian ini adalah Tanah Lempung, Asam Klorida (HCL) digunakan untuk mempercepat korosif pada material *Higt Tin Bronze*, Natrium Klorida untuk mempercepat korosif pada material *Higt Tin Bronze*, dan Asam Nitrat Digunakan sebagai zat untuk mempercepat korosif pada material *Higt Tin Bronze*.

### 3.3. Diagram alir penelitian



Gambar 4. Diagram alir penelitian

### 3.4. Variable Penelitian

Variable bebas pada penelitian ini adalah pengaruh Timah Putih pada paduan *High Tin Bronze* ( 75% Cu - 25% Sn, 80% Cu-20% Sn, 85% Cu -15% Sn) dan media pengkorosi ( HCl, NaCl, HNO<sub>3</sub> , Air). Variable terikat pada penelitian ini adalah laju korosi *High Tin Bronze* dan suktruk makro pada material *High Tin Bronze*. Variable kontrol yang digunakan dalam penelitian ini adalah waktu bulan 1 dan larutan asam yang digunakan HCl, NaCl, HNO<sub>3</sub>, Air.

### 3.5. Metode Uji

Spesimen yang telah lolos dari pemeriksaan hasil coran dipersiapkan untuk pengujian dengan beberapa langkah. Pertama, spesimen dipotong menggunakan gergaji mesin menjadi ukuran P = 20 mm, L = 20 mm, T = 5 mm, kemudian diukur menggunakan Varnier Caliper untuk memastikan ketepatannya. Selanjutnya, dilakukan pengamplasan dengan amplas 300 untuk meratakan dan memperhalus permukaan spesimen. Berat spesimen ditimbang menggunakan neraca analitis sebelum dilakukan perendaman dalam larutan asam kuat. Proses perendaman dilakukan selama satu bulan dalam larutan Asam Klorida (HCl), Natrium Klorida (NaCl), Asam Nitrat (HNO<sub>3</sub>), dan Air untuk menguji laju korosi dengan metode kehilangan berat.

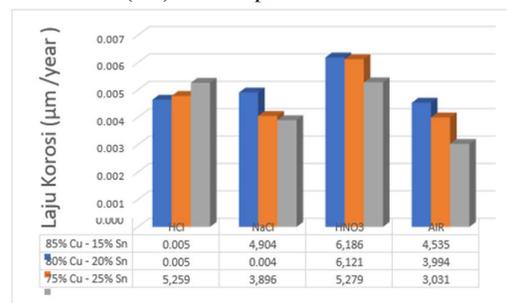
## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1. Pengujian Laju Korosi

- Volume spesimen yang hilang :  $\Delta V = \Delta m / \rho$   
Dimana :  $\Delta V$  = Volume Spesimen  
 $\Delta m$  = Selisih massa ( massa awal – massa akhir )  
 $\rho$  = Densitas (Masa jenis paduan)  
$$= \frac{m \text{ (Masa Spesimen Sebelum Uji)}}{V \text{ (Volume Spesimen Sebelum Uji)}}$$
- Ketebalan spesimen yang hilang  
Dimana :  $\Delta t = \Delta V / L$   
 $\Delta t$  = Tebal spesimen yang hilang  
 $\Delta V$  = Volume spesimen  
 $L$  = Luas permukaan total  
$$= 2 (2\text{cm} \times 2\text{cm}) + 2 (2\text{cm} \times 0,5\text{cm}) + 2 (2\text{cm} \times 0,5\text{cm})$$
$$= 2 \cdot 4 + 2 \cdot 1 + 2 \cdot 1$$
$$= 8 + 2 + 2$$
$$= 12 \text{ cm}^2$$
- Laju korosi ( cr ) dalam satuan  $\mu\text{m} / \text{tahun}$   
Dimana :  $Cr = \frac{\Delta t \times 10^4}{\text{Lama Uji Perendaman}}$   
 $Cr$  = Laju korosi  
Lama uji perendaman = Hari \_\_\_\_\_  
tahun

### 4.2. Grafik Laju Korosi pada Paduan

Grafik pada Gambar 4.1 menunjukkan perubahan persentase laju korosi paduan perunggu yang direndam dengan berbagai larutan asam. Laju korosi maksimum terjadi pada larutan HNO<sub>3</sub>, sedangkan terendah pada larutan Air (H<sub>2</sub>O). Kandungan Sn (timah putih) yang lebih tinggi pada paduan perunggu cenderung meningkatkan laju korosi, terutama dalam larutan HCl. Larutan HNO<sub>3</sub>, yang bersifat oksidatif dan korosif, menghasilkan laju korosi yang sangat tinggi pada paduan perunggu dengan kandungan timah yang tinggi. Larutan NaCl menunjukkan reaksi korosi yang lambat karena sifat ioniknya, sementara air murni memiliki reaksi korosi yang sangat lambat tergantung pada konsentrasi tembaga (Cu) dan timah (Sn) dalam paduan.

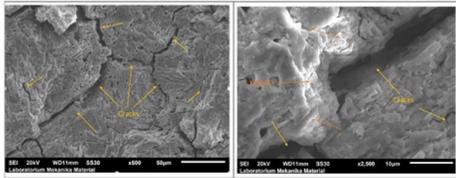


Gambar 4.1. Laju Korosi Pada Paduan

### 4.3. Uji SEM

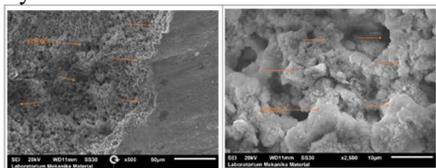
Dari hasil uji laju korosi yang telah dilakukan maka diputuskan bahwa uji SEM

dilakukan pada paduan 75% Cu – 25% Sn di semua larutan.



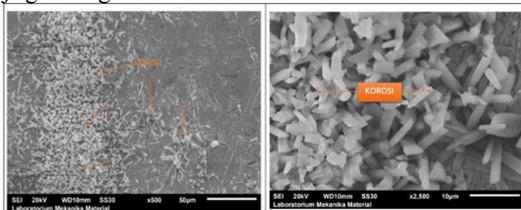
**Gambar 4.2 Hasil Pengamatan SEM Laju Korosi pada Larutan HNO3**

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa hasil perendaman pada larutan HNO<sub>3</sub> menimbulkan banyak keretakan atau *Cracks* pada material tersebut. Hal tersebutlah yang menyebabkan laju korosi pada perendaman larutan HNO<sub>3</sub> ini Sangat tinggi dibandingkan dengan larutan lainnya.



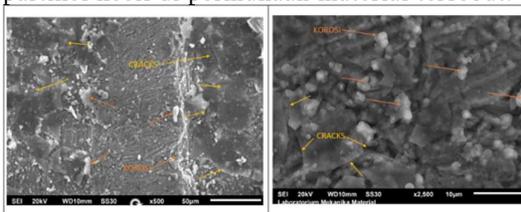
**Gambar 4.3 Hasil Pengamatan SEM Laju Korosi pada Larutan HCl**

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa hasil perendaman pada larutan HCl menimbulkan pengikisan pada material tersebut dan meimbulkan banyak lubang- lubang kecil pada material tersebut. Korosi ini disebut juga dengan Korosi sumur.



**Gambar 4.4 Hasil Pengamatan SEM Laju korosi Pada Larutan NaCl**

Gambar 4.4 menunjukkan Bahwa hasil perendaman pada larutan NaCl menghasilkan korosi yang berbeda dari larutan lainnya, jika dilihat dari bentuk korosinya. Korosi yang terjadi pada paduan ini tidak mengalami pengikisan material tetapi timbulnya partikel-partikel kecil di permukaan material tersebut.



**Gambar 4.5 Hasil Pengamatan SEM Laju korosi Pada Larutan Air**

Gambar 4.5 menemukan bahwa perendaman larutan air menghasilkan laju korosi terendah dibandingkan dalam larutan

lain. Dapat dilihat pada hasil uji SEM pada gambar 4.5 lebih sedikit patina-patina berwarna putih pada permukaan material tersebut dibandingkan dengan material lainnya. Ini diperkuat dengan hasil data laju korosi yang di tunjukan pada table 4.1 bahwa korosi yang di dihasilkan sangat sedikit dibandingkan dengan larutan lainnya.

## 5. Kesimpulan

Setelah penelitian, kemudian dibuat kesimpulan penambahan Sn (timah putih) pada paduan Higt Tin Bronze serta penggunaan media korosi yang berbeda mempengaruhi laju korosi. Larutan HNO<sub>3</sub> menyebabkan laju korosi tertinggi dengan rata-rata 5.862  $\mu\text{m}/\text{tahun}$ , sedangkan air memiliki laju korosi terendah dengan rata-rata 3.854  $\mu\text{m}/\text{tahun}$ . Penambahan Sn pada paduan ini mempengaruhi laju korosi, terutama dalam larutan HCl yang menunjukkan kenaikan laju korosi seiring dengan peningkatan kandungan Sn. Di sisi lain, dalam larutan HNO<sub>3</sub>, NaCl, dan air, peningkatan kandungan Sn mengurangi laju korosi. Pengamatan menggunakan SEM menunjukkan bahwa karakteristik korosi pada paduan Higt Tin Bronze berbeda-beda tergantung pada media korosi yang digunakan, dengan setiap paduan menunjukkan warna dan struktur korosi yang berbeda.

## 6. Daftar Pustaka

- [1] Achmad, :, samlawi, k., & siswanto, r. (2016). *Material teknik*.
- [2] Adi saputra, w., balfas dan muhammad halim asiri, m., *kekerasan coran aluminium dengan variasi besar butir pasir cetak*, a., balfas, m., & halim asiri, m. (2019).
- [3] Agung, a., agung, i., komaladewi, s., & suarsana, k. (2009). *Pengaruh perlakuan panas dan media pendingin pada paduan perunggu 80%cu-20%sn terhadap umur lelah*. In jurnal ilmiah teknik mesin cakram (vol. 3, issue 1).
- [4] a.k. prodjosantoso. (2018) *sintesis dan karakterisasi*. [Http://timah.com](http://timah.com)
- [5] Anugrah rizky pambudi,m., & suprpto, s.si., m.sc., ph.d. (2018). *Penentuan kadar tembaga (cu) dalam sampel*. (vol. 7, issue 2)

- [6] Bhirawa, w. T. (2021). *Proses pengecoran logam dengan menggunakan sand casting*.
- [7] Fürtaufer, s., li, d., cupid, d., & flandorfer, h. (2013). *The cu-sn phase diagram, part i: new experimental results. Intermetallics*, 34, 142–147. <https://doi.org/10.1016/j.intermet.2012.10.004>
- [8] Fakultas tarbiyah dan keguruan uin suska riauw solemanriau, d. (2011). *Identifikasi gugus fungsi dan kandungan mineral lempung pacitan dengan spektroskopi infra red (ir) x-ray diffraction (xrd) pangoloan soleman*. In jurnal photon (vol. 2, issue 1).
- [9] Fürtaufer, s., li, d., cupid, d., & flandorfer, h. (2013). *The cu-sn phase diagram, part i: new experimental results. Intermetallics*, 34, 142–147. <https://doi.org/10.1016/j.intermet.2012.10.004>
- [10] Gianni promoters, l., & adriaens mauro cavallini ghent -rome, a. (2011). *Corrosion behavior of bronze alloys exposed to urban and marine environment: an innovative approach to corrosion process understanding and to graphical results presentation*.
- [11] Morimoto, m., takatsuji, y., yamasaki, r., hashimoto, h., nakata, i., sakakura, t., & haruyama, t. (2018). *Electrodeposited cu-sn alloy for electrochemical co<sub>2</sub> reduction toco/hcoo–Electrocatalysis*,9(3),323–332. <https://doi.org/10.1007/s12678-017-0434-2>
- [12] Puspitasari, p., khafiddin, a., mesin, j. T., & teknik, f. (2022). *Analisis hasil pengecoran logam al-si menggunakan lumpur lapindo sebagai pengikat pasir cetak*. In tahun (vol. 22, issue 2).
- [13] Septa, m., wigangga, s., ketut, i., sugita, g., & priambadi, i. G. N. (2015). *Karakteristik porositas paduan perunggu timah putih (80%cu-20%sn) dan perunggu silikon (95%cu-5%si) dengan variasi laju pendinginan pada pengecoran cetakan pasir*. In jurnal ilmiah teknik desain mekanika.
- [14] Sinaga, a. J., simanjuntak, s. L. M. H., & manurung, c. S. P. (2020). *Analisa laju korosi dan kekerasan pada stainless steel 316 l dalam larutan 10 % nacl dengan variasi waktu perendaman*.
- [15] Sugita, i. K. G. (2017). *Rekayasa perunggu silikon sebagai pengganti perunggu timah putih dengan variasi komposisi*.
- [16] Sugita, i. K. G. (2017). *Karakteristik produksi dan retak gambelan bali berbahan perunggu*.
- [17] Sumarni, w., suhendar, d., eko, d., hadisantoso, p., kimia, j., sains, f., teknologi, d., gunung, s., bandung, d., nasution, j. A. H., 105 cibiru, n., & bandung, k. (2017). *Rekristalisasi natrium klorida dari larutan natrium klorida dalam beberapa minyak yang dipanaskan* (vol. 4, issue 2).
- [18] Scott, David. *Bronze Disease: A Review Of Some Chemical Problems And The Role Of Relative Humidity*. The Journal Of The American Institute For Conservation, Volume 29, Number 2, Article 7, 1990

# PENGARUH VARIASI RASIO TRANSMISI TERHADAP KONSUMSI ENERGI SEPEDA MOTOR LISTRIK KONVERSI PADA KONDISI JALAN MENDATAR

I Ketut Agus Milan Wartama, I Made Widiyarta, I Wayan Arya Darma

Program Studi Teknik mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

Pada saat ini, banyak masyarakat menggunakan kendaraan bermotor untuk aktivitas sehari-hari. Ini meningkatkan penggunaan bahan bakar dan mengurangi cadangan minyak bumi, serta menyebabkan polusi yang mempengaruhi kualitas udara dan lingkungan. Motor listrik konversi adalah alternatif terbaik untuk menggantikan motor bensin dari aspek ekonomi, lingkungan, dan sosial. Dalam penelitian ini, sepeda motor Mio Sporty tahun 2006 dikonversi menjadi sepeda motor listrik yang menggunakan baterai sebagai sumber energi, menggantikan bensin. Konversi ini mengubah komponen-komponen motor, dengan beberapa komponen dilepas dan komponen baru ditambahkan. Rasio transmisi divariasikan menjadi tiga: penambahan 12 ring, 2 ring, dan tanpa penambahan ring, dan diuji pada jalan sepanjang 5 km dengan dan tanpa beban penumpang pada kontrol kecepatan I dan II. Hasil pengujian menunjukkan bahwa transmisi tanpa penambahan ring (rasio 0,81) mencapai kecepatan tertinggi. Pengulangan pengujian tiga kali menunjukkan bahwa rasio transmisi 0,92 tanpa beban penumpang mengonsumsi energi sebesar 0,029 kWh/km, dengan rata-rata waktu tempuh 13,02 menit untuk jarak 5 km.

Kata kunci: Rasio Transmisi, Uji Sepeda Motor Listrik Konversi, Konsumsi Energi

## Abstract

Currently, many people use motorized vehicles for daily activities. This increases fuel consumption and depletes oil reserves, while also causing pollution that affects air quality and the environment. Electric motor conversion is the best alternative to replace gasoline engines from economic, environmental, and social aspects. In this study, a 2006 Mio Sporty motorcycle was converted into an electric motorcycle using a battery as an energy source, replacing gasoline. This conversion changes the motor components, with some components removed and new components added. The transmission ratio was varied into three: adding 12 rings, 2 rings, and no ring addition, and tested on a 5 km road with and without a passenger load at speed control I and II. The test results showed that the transmission without ring addition (ratio 0.81) achieved the highest speed. Repeated testing three times showed that the transmission ratio of 0.92 without passenger load consumed energy at 0.029 kWh/km, with an average travel time of 13.02 minutes for a 5 km distance.

Keywords: Transmission Ratio, Testing of Converted Electric Motorcycles, Energy Consumption

## 1. Pendahuluan

Pada saat ini sebagian besar masyarakat menggunakan kendaraan bermotor sebagai salah satu moda transportasi dalam melakukan aktivitas sehari-hari. Hal ini berdampak pada penggunaan bahan bakar yang akan meningkat dan membuat cadangan minyak bumi akan semakin menipis. Disamping itu tingginya pemakaian kendaraan bermotor menyebabkan polusi yang dapat mempengaruhi kualitas udara disekitarnya dan akan memberikan dampak negatif bagi lingkungan. Salah satu solusi untuk mengurangi dampak yang terjadi yaitu dengan membuat kendaraan yang ramah lingkungan dan dapat beroperasi tanpa menggunakan bahan bakar fosil atau minyak bumi. Sepeda motor listrik merupakan salah satu kendaraan yang dapat beroperasi menggunakan bahan bakar alternatif, yaitu dengan energi listrik. [1]

Efisiensi motor listrik merupakan faktor penting saat membeli atau memasang motor listrik yang akan dioperasikan pada sepeda motor listrik. Baik atau buruknya kinerja sepeda motor listrik sangat dipengaruhi oleh efisiensi motor listrik sebagai penggerak. Ketika efisiensi sebuah motor listrik

dikatakan baik, maka kinerjanya akan lebih maksimal. Pada perancangan sepeda motor listrik ini, motor listrik yang digunakan adalah motor BLDC karena memiliki efisiensi baik, tidak memiliki sikat sehingga perawatan lebih mudah, dan memiliki umur pakai lebih lama (Simanullang, 2019). Vyshakh M. R. juga menyatakan bahwa motor listrik dengan model BLDC memiliki efisiensi yang tinggi, dikarenakan BLDC memiliki karakteristik traksi dengan kapasitas pembebanan yang baik. Ketika arus semakin besar maka rotor pada BLDC berputar semakin kencang dan sebaliknya, dengan penyaluran torsi yang kontinu motor listrik mampu berputar dengan cepat sesuai dengan kapabilitas motor listrik. Penyaluran torsi yang kontinu pada motor listrik membuat sepeda motor listrik konversi tidak lagi memerlukan variasi rasio transmisi yang tak terhingga, sehingga CVT (*continuously variable transmission*) akan dimodifikasi untuk menyesuaikan sistem kerja pada BLDC motor listrik.

Pada penelitian ini mio sporty tahun 2006 adalah sepeda motor yang dikonversi menjadi sepeda motor listrik dan mengalami perubahan

sumber energi, sepeda motor bahan bakar menggunakan bensin sebagai penghasil daya, sementara sepeda motor yang telah dikonversi menggunakan baterai. Konversi terhadap sepeda motor dengan baterai sebagai sumber energi menjadikan komponen-komponen pada motor berubah, adanya komponen yang tidak digunakan akan dilepas dan ada pula komponen yang perlu ditambahkan pada sepeda motor sebagai penunjang sistem kerja sepeda motor. Sistem kerja sepeda motor listrik yang berubah dengan adanya tambahan motor listrik sebagai penggerak yang mengkonversi energi listrik dari baterai menjadi energi gerak dan kemudian digunakan transmisi untuk berotasi dan ditransfer ke roda belakang sehingga sepeda motor dapat melaju.

Transmisi sepeda motor memakai jenis *open belt drive* yang memiliki dua *pulley* yang dinamakan *primary sheave* sebagai *driver* dan *secondary sheave* sebagai *driven*, variasi rasio yang tak terhingga pada CVT diperoleh dari *roller* di *primary sheave* dan *centrifugal* di *secondary sheave* yang akan mempengaruhi efektifitas BLDC motor. Penggunaan *roller* dan *centrifugal* tidak diperlukan lagi karena akan mengurangi efektifitas pada BLDC motor, oleh karena itu *roller* dan *centrifugal* pada transmisi dilepas untuk mengurangi pembebanan pada transmisi dengan dilepasnya komponen-komponen diatas maka CVT berubah menjadi transmisi manual dan transmisi sepeda motor listrik konversi menjadi penting untuk diteliti sehingga dapat ditentukan variasi rasio transmisi paling optimal yang mengonsumsi daya baterai paling minimum dengan mengujinya melalui variasi kecepatan yang berbeda. Pada pengujian ini akan dilakukan sepanjang jarak 5 km, karena dengan jarak 5 km sudah bisa menunjukkan perbedaan kondisi baterai awal dan setelah pengujian.[2]

Tujuan Penelitian ini adalah untuk mengetahui variasi rasio transmisi dengan penambahan dua belas ring, dua ring dan tanpa ring pada *primary sheave*. Lalu mengetahui daya dari baterai yang dikonsumsi pada setiap variasi rasio transmisi dengan variasi beban pada jarak 5km dan menentukan pengonsumsi daya paling optimal dari salah satu dari tiga variasi.

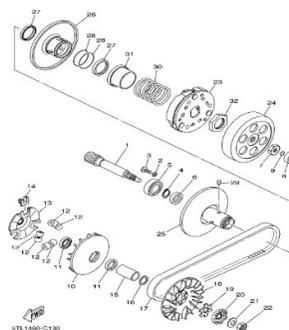
## 2. Dasar Teori

### 2.1 Sepeda Motor Listrik

Sepeda motor listrik adalah kendaraan yang digerakkan oleh motor listrik tanpa bahan bakar minyak, dikembangkan sebagai solusi terhadap pemanasan global dan keterbatasan bahan bakar minyak. Sepeda motor listrik memiliki banyak

kelebihan dibandingkan sepeda motor konvensional seperti ramah lingkungan, biaya perawatan lebih sedikit, ringan, tidak menyebabkan polusi suara, dan penggunaan daya yang sangat efisien. [3]

### 2.2 Sepeda Motor Listrik Konversi



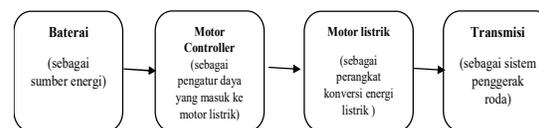
Gambar 2. 1 Bagian-bagian CVT

Sepeda motor elektrifikasi adalah sepeda motor konvensional yang dikonversi menjadi sepeda motor listrik. Perubahan sumber energi dari bahan bakar minyak menjadi listrik menyebabkan perubahan pada komponen motor. Komponen seperti tangki bahan bakar, ruang pembakaran, dan knalpot tidak lagi digunakan dan diganti dengan baterai, motor controller, dan motor listrik. Selain itu, CVT (*continuously variable transmission*) dimodifikasi untuk mengurangi beban pada transmisi dan memungkinkan akselerasi yang optimal.

### 2.3 Continuously Variable Transmission

Continuously Variable Transmission (CVT) adalah jenis transmisi dengan rasio yang dapat berubah-ubah secara tak terbatas, memungkinkan penggunaan daya dari pembakaran bahan bakar menjadi lebih efisien. CVT adalah transmisi otomatis yang beroperasi dengan dua pulley yang dihubungkan oleh V-belt. Kedua pulley ini memainkan peran penting dalam sistem CVT, karena diameternya dapat berubah secara otomatis ketika mesin bergerak cepat, menghasilkan gaya sentrifugal pada roller dan centrifugal [4]

### 2.4 Komponen Penting Pada Sepeda Motor Listrik



Gambar 2. 2 Komponen Penting Sepeda Motor Listrik Konversi.

Komponen penting pada sepeda motor listrik dilihat secara garis besar dimulai dari sumber energi sampai pada akhirnya sepeda motor mampu mengalami akselerasi. Gambar 2.2 menjelaskan sumber energi yang dipakai pada sepeda motor

listrik adalah baterai, lalu *motor controller* sebagai pengatur daya yang akan masuk ke motor listrik dan perangkat penting terakhir adalah transmisi yang berfungsi sebagai sistem penggerak sehingga sepeda motor dapat melakukan akselerasi.[5]

## 2.5 Baterai

Baterai adalah salah satu teknologi umum yang sering kita jumpai di kehidupan sehari-hari, baterai hadir dalam bentuk dan ukuran yang berbeda, dari baterai kecil yang digunakan pada perangkat elektronik seperti telepon genggam maupun baterai lebih besar yang digunakan pada kendaraan listrik. Baterai adalah perangkat elektrokimia yang menyimpan energi dalam bentuk kimia dan mengubahnya menjadi energi listrik untuk menyuplai daya pada perangkat elektronik, baterai dapat berbentuk satu

atau lebih sel elektrokimia yang dipasang secara seri maupun paralel yang menghasilkan tegangan dan arus listrik.

## 2.6 Motor Controller

*Motor controller* adalah sebuah perangkat yang berfungsi mengatur besarnya arus yang masuk ke motor listrik sehingga motor listrik dapat beroperasi sesuai dengan performa motor listrik secara efektif. Spesifikasi *motor controller* harus sesuai dengan motor listriknya sehingga dapat bekerja secara optimal, jika input daya yang diberikan oleh *motor controller* lebih besar dari motor listrik maka akan terjadi *overheating* dan *overcurrent protection* yang dapat menyebabkan motor listrik rusak, sebaliknya jika input daya lebih rendah motor listrik akan mengalami kinerja yang lemah dan *overloading*. *Motor controller* memiliki peran penting dalam mengatur aliran arus ke motor listrik agar dapat beroperasi dengan baik sehingga motor listrik rusak sebelum waktunya rusak [4]

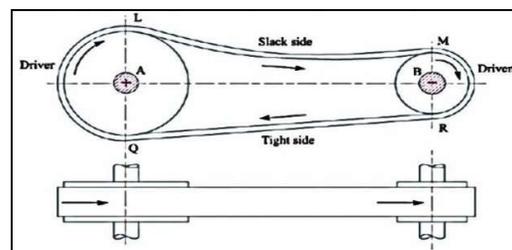
## 2.7 Brushless DC Motor Listrik

Motor listrik adalah sebuah perangkat yang dirangkai untuk menghasilkan sebuah energi mekanis. Rangkaian dibuat untuk menerima *input* dalam bentuk energi listrik dengan memakai prinsip kerja induksi elektromagnetik, motor listrik harus memiliki beberapa bagian untuk sampai pada akhirnya menghasilkan energi mekanis, berikut adalah bagian-bagian dari motor listrik [3]

## 2.8 Transmisi

Transmisi adalah sebuah sistem kerja pada motor yang mentransfer daya dari mesin ke roda penggerak motor. Transmisi pada sepeda motor biasanya memiliki beberapa jenis, contohnya transmisi manual maupun transmisi otomatis. Pada transmisi manual, pengemudi harus secara manual memilih gigi yang sesuai kebutuhan ketika

mengendarai motor, sementara transmisi otomatis akan sendirinya bergerak memilih gigi yang paling sesuai berdasarkan kecepatan sepeda motor. Transmisi pada sepeda motor biasanya menggunakan *open belt drive* untuk memberikan daya kepada roda penggerak motor, jenis ini digunakan dengan poros *primary sheave* sejajar dengan poros *secondary sheave* dan dengan arah putaran yang sama. Berikut adalah gambar dari *open belt drive* [6]



Gambar 2.3 Open Belt Drive

## 2.9 Gaya Hambatan Yang Bekerja Pada Sepeda Motor

Dalam dinamika kendaraan, beberapa gaya hambat muncul yaitu gaya hambat aerodinamis ( $R_a$ ), gaya hambat rolling ( $R_r$ ) dan gaya gradien atau gaya hambat karena tanjakan jalan ( $R_g$ ). Untuk dapat menggerakkan kendaraan, maka diperlukan gaya dorong yang dapat melawan hambatan yang timbul oleh ketiga gaya hambat tersebut. Gaya dorong atau gaya traksi (traction force,  $F_t$ ) dapat berasal dari tenaga mesin kendaraan tersebut. [7]

## 3. Metode Penelitian

### 3.1 Alat-alat Penelitian

1. GPS Digital Speed
2. Multimeter

### 3.2 Bahan-bahan Penelitian

1. Baterai
2. Motor Listrik DC
3. Brushless DC Motor Controller
4. Konversi Sepeda Motor Listrik

### 3.3 Prosedur Penelitian

Penelitian akan dilakukan dengan menggunakan pengujian secara langsung, sepeda motor konversi yang akan diuji secara langsung di jalan, yang memiliki beberapa tahapan penelitian. Berikut adalah tahapan penelitian dari penulisan ini:

1. Studi literatur.
2. Pengambilan data variasi rasio transmisi.
3. Pengujian.
4. Pengambilan data tegangan, arus dan daya.
5. Penulisan pembahasan dan kesimpulan.

Jika data - data sudah didapat dan telah dilakukan perhitungan, selanjutnya dimasukkan kedalam tabel kemudian dibuat grafik hubungan dan ditarik kesimpulannya.

#### 4. Hasil Dan Pembahasan

Penelitian dilakukan untuk mengetahui besar energi yang dikonsumsi pada sebuah sepeda motor listrik konversi pada rasio transmisi yang berbeda; *low ratio*, *medium ratio*, *overdrive ratio*, juga pada kecepatan dan *speed control* yang berbeda. Tahap pertama dari penelitian adalah menghitung besar dari rasio transmisi pada setiap penambahannya, lalu pengujian konsumsi sepeda motor listrik konversi dilakukan dengan total 36 kali pengujian yaitu; tiga variasi rasio transmisi, dua variasi beban, dua speed control, dan tiga kali pengulangan pada setiap variasi.

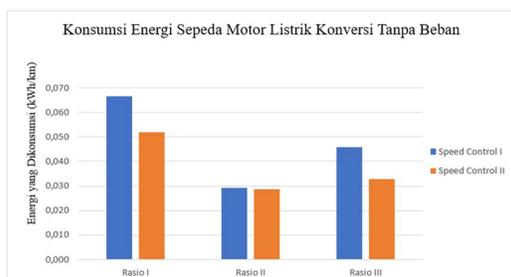
##### 4.1 Data Pengujian pada Control Speed Tanpa Beban

No.	Variasi	Tegangan (V)			Running			Rata-Rata Konsumsi Energi (kWh/km)
		Awal	Akhir	Waktu (jam)	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya (W)	
1	Rasio I 2.13	52.1	48.9	0.6	48.33	9.33	450.92	0.067
		51.1	48.1	0.54	49.60	9.52	472.19	
		50.2	47.2	0.55	48.70	9.68	471.42	
2	Rasio II 0.92	51.3	48.8	0.23	48.5	13.65	662.03	0.029
		48.9	47.3	0.22	46.89	13.6	637.7	
		51.3	48.8	0.22	48.73	13.77	671.01	
3	Rasio III 0.81	51.4	48.4	0.26	48.5	16.81	815.29	0.046
		48.2	46.5	0.29	45.72	17.27	789.58	
		51.3	48.2	0.3	49.75	16.32	811.92	

Gambar 4. 1 Data Pengujian Pada Speed Control I Tanpa Beban

No.	Variasi	Tegangan (V)			Running			Rata-Rata Konsumsi Energi (kWh/km)
		Awal	Akhir	Waktu (jam)	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya (W)	
1	Rasio I 2.13	50	47.3	0.55	48.65	9.33	453.9	0.052
		52.1	49	0.55	50.55	9.52	481.24	
		52.8	49.5	0.54	51.15	9.68	495.13	
2	Rasio II 0.92	48.9	47.1	0.21	46.49	14.63	680.15	0.029
		52.4	49.8	0.22	49.76	12.93	643.4	
		50.1	46.8	0.22	47.58	13.84	658.51	
3	Rasio III 0.81	48.2	46.3	0.24	45.72	13.76	629.11	0.033
		52.5	49.3	0.23	49.43	14.82	732.55	
		49.5	47.4	0.25	46.92	14.69	689.25	

Gambar 4. 2 Data Pengujian Pada Speed Control II Tanpa Beban



Gambar 4. 3 Konsumsi Energi Sepeda Motor Listrik Konversi Tanpa Beban

Pada Gambar 4.1 Pengujian speed control I tanpa beban dapat dilihat rasio transmisi yang mengkonsumsi energi terendah pada rasio transmisi 0,92 sebesar rata-rata 656.91 W  $\approx$  0,029 kWh/km dengan rata-rata kecepatan maksimal yang didapatkan sebesar 28 km/jam, sementara pada kecepatan dan speed control yang sama konsumsi energi terbesar adalah rasio transmisi 2,13 rata-rata sebesar 464,84 W  $\approx$  0,052 kWh dengan rata-rata kecepatan maksimal yang didapatkan sebesar 10.7 km/jam.

Pada Gambar 4.2 Pengujian speed control II tanpa beban dapat dilihat rasio transmisi yang mengkonsumsi energi terendah pada rasio transmisi 0,92 sebesar rata-rata 660,68 W  $\approx$  0,029 kWh/km dengan rata-rata kecepatan maksimal yang didapatkan sebesar 30,3 km/jam, sementara pada kecepatan dan speed control yang sama konsumsi energi terbesar adalah rasio transmisi 2,13 rata-rata sebesar 476.,76 W  $\approx$  0,052 kWh dengan rata-rata kecepatan maksimal yang didapatkan sebesar 10.7 km/jam.

#### 5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan pada pengaruh rasio transmisi terhadap konsumsi daya sepeda motor listrik pada jalan mendatar dapat disimpulkan bahwa :

1. Transmisi tanpa penambahan ring diantara memiliki rasio sebesar 0,81, lalu pada penambahan dua ring memiliki rasio sebesar 0,92, sementara penambahan dua belas memiliki rasio sebesar 2,13. Jika melihat pengaruh rasio transmisi pada variasi kecepatan, transmisi tanpa penambahan ring memiliki rasio sebesar 0,81 adalah satu-satunya rasio yang mampu mencapai kecepatan yang paling tinggi. Sehingga dapat dinyatakan melalui pengujian ini, rasio transmisi 0,92 mampu mencapai kecepatan yang lebih tinggi.
2. Sepeda motor listrik dengan beban 70 kg yang dilakukan sebanyak tiga kali pengujian menghasilkan nilai sebesar 0,051 kWh/km dan 0,065 kWh/km pada speed control I dengan rasio 2,13 dan speed control II dengan rasio 0,81. Pada kondisi yang rasio 0,92 mengkonsumsi energi sebanyak 0,046 kWh/km dan 0,040 kWh/km pada speed control satu dan dua. Jika dilihat dari energi yang dikonsumsi pada rasio 0,81 yaitu sebesar 0,051 kWh/km dan 0,053 kWh/km pada speed control I dan II. Sepeda motor listrik tanpa

3. beban yang dilakukan sebanyak tiga kali pengujian menghasilkan nilai sebesar 0,067 kWh/km dan 0,052 kWh/km pada speed control I dan II dengan rasio 2,13. Pada kondisi yang sama rasio 0,92 mengkonsumsi energi sebanyak 0,029 kWh/km dan 0,029 kWh/km pada speed control I dan II. Jika dilihat dari energi yang dikonsumsi pada rasio 2,13 yaitu sebesar 0,046 kWh/km dan 0,033 kWh/km pada speed control I dan II.
4. Daya paling optimal pada pengujian sepeda motor listrik terdapat pada variasi rasio 0,92 tanpa penambahan beban penumpang dengan konsumsi energi sebesar 0,029 kWh/km. Pada variasi ini, rata-rata waktu yang dibutuhkan sepeda motor untuk menempuh jalan sepanjang 5 km adalah 13,02 menit.

- [7] T. Santi Rahmawati, S. Istiqomah, and W. Sutopo, "A Manufacturer Opening Decision of Electric Motorcycle Conversion Kit Using The Mixed Integer Linear Programming Method."

	<p><b>I K. Agus Milan Wartama</b> Menyelesaikan studi program sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2020 sampai 2024</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati yaitu Rekayasa Manufaktur.</p>	

#### Daftar Pustaka

- [1] E. Prasetyo, D. Dahlan, D. Raditya, and N. Fadhl, "Analisis Pengujian Sepeda Motor Listrik 3 kW Pada Jalan Mendatar dan Menanjak".
- [2] B. Supriyo, S. Ariyono, B. Tjahjono, and B. Sumiyarso, "Electro-mechanical Transmission Ratio Shifter of Rubber Belt Continuously Variable Transmission for Motorcycle Applications," in *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics Publishing, Nov. 2019. doi: 10.1088/1742-6596/1273/1/012071.
- [3] Book and I. M. Parsa, "MOTOR-MOTOR LISTRIK," 2018. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/323986635>
- [4] B. Bonsen, "Efficiency optimization of the push-belt CVT by variator slip control Citation for," 2006, doi: 10.6100/IR615586.
- [5] V. La Battaglia, A. Giorgetti, S. Marini, G. Arcidiacono, and P. Citti, "Kinematic analysis of v-belt cvt for efficient system development in motorcycle applications," *Machines*, vol. 10, no. 1, Jan. 2022, doi: 10.3390/machines10010016.
- [6] Y. D. Novita Sari, "Perhitungan Ulang Transmisi Sabuk Dan Puli Alternator Pada Kinetic Flywheel Conversion (KFC) Untuk Memaksimalkan Kerja Alat Di Terminal BBM Surabaya Group-Pertamina Perak," 2018.

# Pengaruh Variasi Massa Serat Pada *Green Composite* Serat Daun Nanas dan Sari Pati Kentang Terhadap Kekuatan Tarik dan Densitas

Komang Dicky Ari Prayudha, Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati, dan Ketut Astawa

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

Terjadinya kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam dunia industri mengakibatkan meningkatnya permintaan material *green composite*. Material *green composite* dikembangkan untuk mengurangi penggunaan material yang tidak ramah dan berbahaya untuk lingkungan. Perlu adanya upaya menciptakan sebuah inovasi pengembangan komposit ramah lingkungan dengan menggabungkan matriks dan serat berbahan dasar alam. Penelitian ini menggunakan matriks alami yaitu sari pati kentang digabungkan dengan serat daun nanas berukuran 1 cm dengan variasi massa 95% : 5%, 90% : 10%, 85% : 15%. Dalam proses pembuatan matriks sari pati kentang dipanaskan hingga temperatur panas 170°C pada magnetic stirrer 200 rpm, kemudian dicetak menggunakan cetakan berbahan akrilik dan dibuat dengan metode hand lay-up. Dimensi spesimen uji tarik mengikuti ASTM D3039 dan dimensi spesimen uji densitas mengikuti ASTM D792-08. Hasil pengujian kekuatan tarik tertinggi pada variasi fraksi massa 15% serat diperoleh tegangan tarik 4,210 MPa, regangan 0,687% dan modulus elastisitas 0,616 GPa, sedangkan kekuatan tarik terendah pada variasi fraksi massa 5% serat dengan tegangan tarik 1,543 MPa, regangan 0,623% dan modulus elastisitas 0,359 GPa. Hasil pengujian densitas tertinggi didapat pada variasi fraksi massa 5% serat sebesar 1,646 gr/cm<sup>3</sup>. Sedangkan nilai densitas terendah didapat pada variasi fraksi massa 15% serat sebesar 1,581 gr/cm<sup>3</sup>.

Kata kunci: Bioplastik, *Green Composite*, Sari Pati Kentang, Serat Daun Nanas, Fraksi Massa, Uji Tarik, Uji Densitas

## Abstract

The advancement of science and technology in the industrial world has resulted in an increasing demand for green composite materials. Green composite materials were developed to reduce the use of materials that are unfriendly and harmful to the environment. It is necessary to create an innovation in the development of environmentally friendly composites by combining natural-based matrices and fibers. This research uses a natural matrix, namely potato starch juice combined with 1 cm pineapple leaf fiber with a mass variation of 95% : 5%, 90% : 10%, 85% : 15%. In the process of making the matrix, the potato starch juice was heated to a hot temperature of 170°C on a 200 rpm magnetic stirrer, then molded using acrylic molds and made by hand lay-up method. The dimensions of the tensile test specimens follow ASTM D3039 and the dimensions of the density test specimens follow ASTM D792-08. The highest tensile strength test results in the variation of 15% fiber mass fraction obtained tensile stress 4.210 MPa, strain 0.687% and elastic modulus 0.616 GPa, while the lowest tensile strength in the variation of 5% fiber mass fraction with tensile stress 1.543 MPa, strain 0.623% and elastic modulus 0.359 GPa. The highest density test results were obtained in the 5% fiber mass fraction variation of 1.646 gr/cm<sup>3</sup>. While the lowest density value is obtained in the variation of 15% fiber mass fraction of 1.581 gr/cm<sup>3</sup>.

Keywords: Bioplastic, *Green Composite*, Potato Starch, Pineapple Fiber, Mass Fraction, Tensile Test, Density Test

## 1. Pendahuluan

Plastik memiliki peran yang sangat penting dalam kehidupan manusia dikarenakan harganya yang terjangkau, ringan, serta mudah diproduksi. Penggunaan plastik secara berlebihan dapat menghasilkan sampah dan memberi dampak yang kurang baik bagi lingkungan. Permasalahan utama dari plastik adalah sampah plastik akan sulit hilang atau terurai dari lingkungan, karena sifatnya yang tahan terhadap degradasi dan akhirnya menyebabkan pencemaran.

Total pencemaran plastik yang dihasilkan manusia sekitar 400 juta ton plastik pertahun. Mengingat dampak negatif yang ditimbulkan dari sampah plastik terhadap lingkungan, maka perlu dilakukan sebuah upaya untuk meminimalisir

pencemaran lingkungan ini dengan memproduksi plastik yang berbahan baku dari alam yang biasa dikenal dengan sebutan bioplastik.

Bioplastik dipilih menjadi salah satu upaya untuk menanggulangi masalah pencemaran sampah plastik karena dapat terdegradasi dan tidak berbahaya bagi lingkungan juga kesehatan manusia. Pengembangan bioplastik di Indonesia memiliki manfaat yang sangat baik guna mengurangi pencemaran limbah plastik di Indonesia, namun upaya ini masih cenderung sedikit dilakukan melihat dari jumlah produk – produk yang berbahan plastik dibandingkan dengan yang berbahan alam.

*Green composite* merupakan salah satu opsi untuk mengembangkan komposit dengan bahan – bahan yang berasal dari alam. *Green composite*

merupakan penggabungan matriks dengan serat alami sehingga membentuk bahan komposit yang alami. *Green composite* terbuat dari bahan resin berbasis pati dan serat selulosa yang dapat terurai kembali. Penggunaan serat alam potensial seperti serat daun nanas memiliki kekuatan tarik yang tidak kalah dengan serat sintetis, serta memiliki keunggulan lain seperti harganya yang lebih murah, memiliki bobot yang ringan, dan merupakan bahan alternatif yang memiliki sifat yang ramah lingkungan [1].

Adapun tujuan dari dilakukannya penelitian ini yaitu untuk menganalisis pengaruh variasi massa serat pada *green composite* serat daun nanas dan sari pati kentang terhadap kekuatan tarik dan densitas. Beberapa rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini antara lain:

1. Bagaimana pengaruh variasi massa serat pada *green composite* serat daun nanas dan sari pati kentang terhadap kekuatan tarik.
2. Bagaimana pengaruh variasi massa serat pada *green composite* serat daun nanas dan sari pati kentang terhadap densitas.

Pembatasan suatu masalah sangat penting digunakan untuk meminimalisir adanya multitafsir maupun penyimpangan masalah, sehingga dapat memudahkan peneliti dalam mencapai tujuan. Beberapa batasan masalah dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Penelitian ini menggunakan sari pati kentang sebagai bahan bioplastik.
2. Bahan penguat komposit adalah serat daun nanas.
3. Proses pembuatan komposit dengan teknik press *handlay up*.
4. Proses pengadukan bahan bahan diasumsikan homogen.
5. Parameter lingkungan seperti suhu dan kelembaban diasumsikan homogen.

## 2. Dasar Teori

### 2.1. Komposit

Komposit merupakan material yang dianggap multifase karena dibuat dengan tujuan menunjukkan sebuah kombinasi sifat yang baik dari setiap material komponen-komponennya, sehingga terbentuklah material yang baru yang memiliki sifatnya lebih baik dari material pembentuknya [2]. Komposit pada umumnya tersusun atas penguat (serat) dan matriks (resin). Sifat ataupun karakteristik dari komposit ditentukan dari material penyusun komposit, penyusun structural dari penyusun dan interaksi antar penyusun.

### 2.2. Green Composite

*Green composite* merupakan penggabungan matriks dengan resin alami sehingga membentuk bahan komposit yang alami [1]. *Green composite* terbuat dari bahan berbasis pati dan serat selulosa yang dapat terurai kembali. Penggunaan serat alam memiliki kekuatan tarik yang tidak kalah

dibandingkan kekuatan tarik serat sintetis, serta memiliki keunggulan lain seperti harganya yang lebih murah, memiliki bobot yang ringan, dan ramah lingkungan [3].

### 2.3. Pati Kentang

Pati kentang merupakan komponen utama dalam kentang (*solanum tuberosum L*) yang berkontribusi pada kualitas nutrisinya. Pati adalah biopolymer yang memiliki dua jenis glukosa polimer. Keuntungan dari plastik berbasis pati adalah kelimpahan yang sangat tinggi di alam dan biaya yang rendah. Namun, sebagian besar bahan berbasis pati menunjukkan sifat fisik mekanik yang sangat buruk seperti kekuatan tarik rendah, kekakuan tinggi, perpanjangan saat putus dan stabilitas kelembaban yang buruk.

### 2.4. Serat Daun Nanas

Serat daun nanas atau *pineapple-leaf fibres* merupakan salah satu sumber daya alam potensial yang diperoleh dari daun-daun tanaman nanas. Jenis serat ini telah banyak dibudidayakan di Indonesia, terutama pulau Jawa dan Sumatera. Bentuknya menyerupai pedang dengan runcing di ujungnya berwarna hijau-kehitaman dan tepi daun berduri dengan panjang berkisar antara 55 sampai 75 cm [4].

Karakteristik mekanik serat daun nanas yang di variasikan penambahannya, terjadi kenaikan kekuatan tarik seiring bertambahnya serat daun nanas dan orientasi serat searah. Pada penambahan serat 10% mendapatkan kekuatan tarik 16,03 Mpa, pada 20% mendapatkan 23,19 Mpa, pada 30% mendapatkan 27.39 Mpa, pada 40% mendapatkan 33,57 Mpa. Penurunan kekuatan tarik juga terjadi apabila orientasi serat pendek acak. Penambahan serat 10% mendapat nilai 16,24 Mpa, pada 20% mendapat 14,32 Mpa, pada 30% mendapat 11,50 Mpa, dan 40% mendapat 8,12 Mpa.

### 2.5. Hand Lay-up

*Hand lay-up* merupakan metode pembentukan terbuka untuk pembuatan bahan komposit. Ini adalah metode paling sederhana dan tertua dan dapat dipertimbangkan dalam metode laminasi yang cocok terutama untuk komponen besar. Bahan penguat seperti kaca, polimer atau serat karbon ditempatkan secara manual ke dalam cetakan terbuka setelah menuangkan resin, yang dalam hal ini, dapat menjadi suspensi geopolimer. Secara manual, menggunakan sekop atau roller, suspensi tersebar di seluruh cetakan, merendam serat.

Selanjutnya, rol digunakan untuk menggulung komposit basah untuk memastikan interaksi yang ditingkatkan antara tulangan dan matriks, untuk memfasilitasi distribusi resin yang seragam, dan untuk mendapatkan ketebalan yang diperlukan. Akhirnya, laminasi dibiarkan sembuh dalam kondisi atmosfer standar. Umumnya, proses ini dibagi menjadi empat langkah : persiapan

cetakan, pelapisan gel, *lay-up*, dan pengawetan. *Curing* adalah proses pengerasan komposit resin yang diperkuat serat tanpa panas eksternal.

### 2.6. Uji Tarik

Uji tarik bertujuan untuk mengetahui nilai kekuatan tarik, tegangan, dan regangan dari suatu material. Dalam penelitian ini dilakukan pengamatan terhadap peningkatan beban dan pertambahan panjang secara terus menerus serta menggunakan ASTM D 3039.

### 2.7. Uji Densitas

Uji densitas bertujuan untuk membantu menentukan karakteristik suatu material apakah akan mengapung atau tenggelam pada fluida. Pengujian dan perhitungan densitas pada penelitian ini mengacu pada standar ASTM D 792-08.

## 3. Metode-penelitian

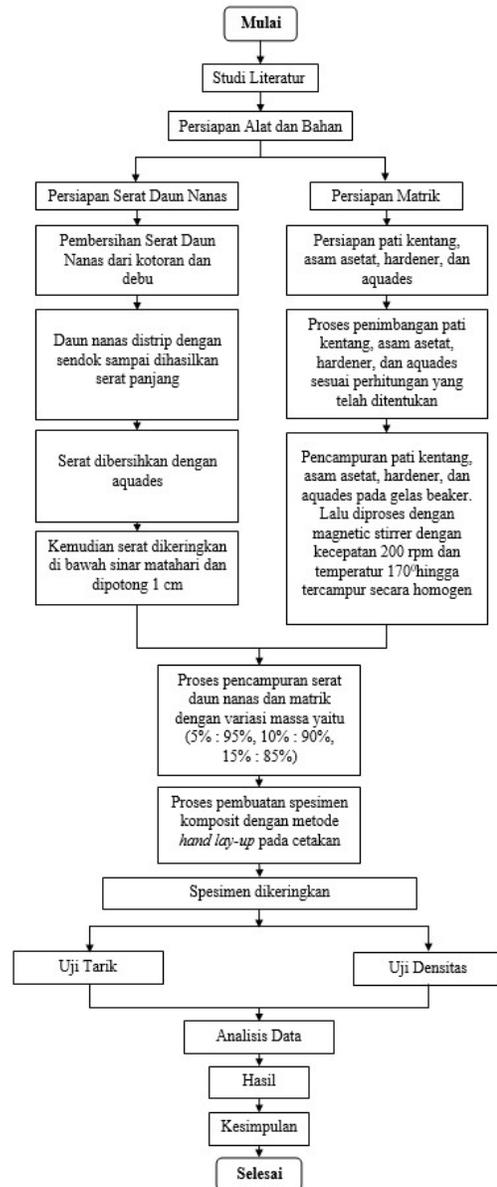
### 3.1. Alat Penelitian

1. Alat uji : Alat Uji Tarik dengan ASTM D 3039 dan Alat Uji Densitas dengan ASTM D 792-08.
2. Alat cetak yang terbuat dari bahan akrilik berbentuk persegi.
3. Alat ukur, terdiri dari penggaris, timbangan digital, gelas beaker 50 mL dan 500 mL.
4. Alat bantu, terdiri dari batang pengaduk, blender, Nesco Lab MS-H280-Pro Magnetic Stirrer, pengupas kulit kentang, pisau, Aluminium Foil, saringan, sendok, wadah, minyak atau wax.
5. Alat pembersih berupa lap dan tissue.

### 3.2. Bahan Penelitian

1. Kentang Kuning
2. Serat Daun Nanas
3. Asam Asetat
4. Hardener
5. Gliserol
6. Aquades
7. Alkohol

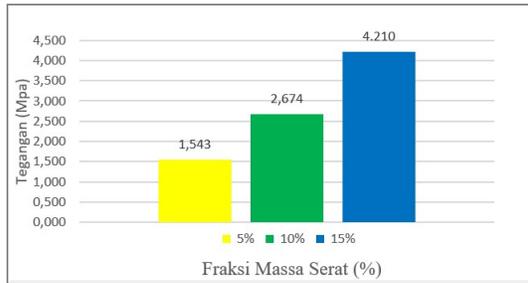
### 3.3. Diagram alir penelitian



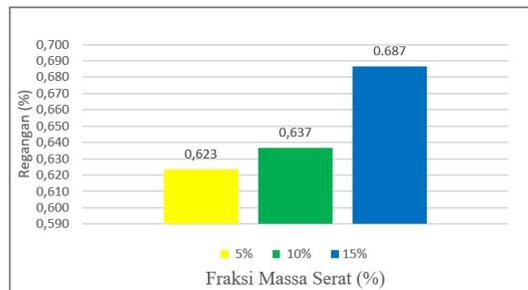
Gambar 1. Diagram alir penelitian

## 4. Hasil dan Pembahasan

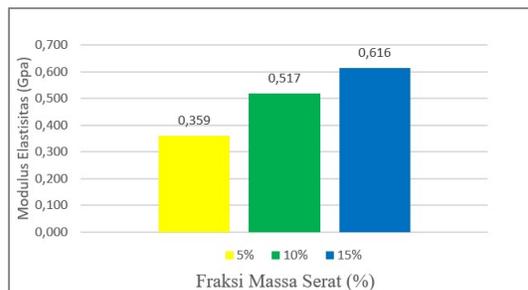
### 4.1. Hasil Uji Tarik



Gambar 2. Diagram Tegangan tarik



Gambar 3. Diagram Regangan Tarik



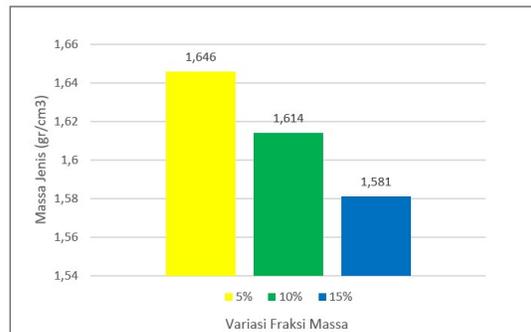
Gambar 4. Diagram Modulus Elastisitas

Berdasarkan data yang didapatkan pada gambar 1, 2, dan 3, menunjukkan hasil tegangan tarik yang didapatkan pengujian dari perbandingan 5%, 10% dan 15% yaitu dengan rata-rata untuk setiap variasi. Diperoleh tegangan tarik tertinggi pada variasi 15% serat daun nanas sebesar 4.210 MPa, variasi 10% serat daun nanas sebesar 2.674 MPa, dan variasi 5% serat daun nanas memiliki nilai tegangan tarik terendah sebesar 1.543 MPa. Hasil pengujian regangan tertinggi diperoleh pada variasi 15% serat daun nanas sebesar 0.687%, variasi 10% serat daun nanas sebesar 0.637%, dan variasi 5% serat daun nanas memperoleh regangan tarik terendah sebesar 0.623%. Hasil pengujian modulus elastisitas tertinggi diperoleh pada variasi 15% serat daun nanas sebesar 0.616 GPa, variasi 10% serat daun nanas sebesar 0.517 GPa, dan variasi 5% serat daun nanas memperoleh modulus elastisitas terendah sebesar 0.359 GPa.

Dari data pengujian mekanik yang telah diperoleh, nilai tegangan, regangan, dan modulus elastisitas tarik meningkat dengan menambahkan serat. Hal tersebut disebabkan serat pada matriks mampu menyerap energi dalam jumlah besar yang terdistribusi secara merata, sehingga menghasilkan ikatan antara serat dengan matriks saat terkena beban tarik. Semakin banyak serat yang ditambahkan, maka semakin meningkat kekuatan tarik spesimen tersebut. Pembebanan yang terjadi tidak hanya diterima oleh matriks melainkan diberikan juga ke serat sehingga kekuatan tarik menjadi lebih maksimal.

Hasil pengujian dibandingkan dengan hasil pengujian tarik peneliti sebelumnya dengan matriks pati kentang dan serat bambu dengan variasi matriks : serat bambu yang hampir sama, yaitu 95% : 5%, 92,5% : 7,5%, dan 90% : 10%. Hasil rata-rata tegangan, regangan dan modulus elastisitas yang dihasilkan relatif sama yaitu semakin bertambah serat, hasilnya akan semakin besar. Hasil tegangan tertinggi pada variasi 10% serat bambu sebesar 2,930 MPa, regangan terbesar pada variasi 10% serat bambu sebesar 1,297%, dan modulus elastisitas terbesar pada variasi 10% serat bambu sebesar 0,679 GPa [4].

### 4.2. Hasil Uji Densitas



Gambar 5. Diagram Densitas

Berdasarkan gambar diagram 4.5 menunjukkan hasil pengujian densitas yang didapatkan pengujian dari perbandingan serat 5%, 10%, 15% dengan rata-rata setiap fraksi massa, diperoleh densitas tertinggi pada variasi 5% serat daun nanas sebesar 1,646 gr/cm<sup>3</sup>, variasi 10% serat daun nanas sebesar 1.614 gr/cm<sup>3</sup>, dan variasi 15% serat daun nanas mendapatkan densitas paling rendah sebesar 1,581 gr/cm<sup>3</sup>. Berdasarkan data yang diperoleh, penurunan nilai densitas disebabkan oleh penambahan variasi serat dan nilai densitas serat daun nanas lebih kecil dibandingkan nilai densitas matriks yang digunakan, sehingga penambahan variasi serat menyebabkan air yang masuk atau terserap oleh matriks akan lebih sedikit. Seperti penelitian Endriatno (2015), semakin bertambah serat maka nilai densitas matriks akan menurun [5].

Hasil pengujian densitas dibandingkan dengan data hasil pengujian peneliti sebelumnya

dengan matriks pati kentang dan serat bambu dengan variasi matriks : serat bambu yaitu 95% : 5%, 92,5% : 7,5%, dan 90% : 10%. Hasil pengujian yang diperoleh relatif sama yaitu semakin sedikit persentase serat, hasil densitas semakin besar. Hasil densitas tertinggi pada variasi 5% serat bambu sebesar 1,252 gr/cm<sup>3</sup> dan hasil densitas terendah pada variasi 10% serat bambu sebesar 1,179 gr/cm<sup>3</sup> [5].

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah penulis lakukan dan laksanakan terhadap pengaruh variasi fraksi massa matriks sari pati kentang dengan penguat serat daun nanas terhadap kekuatan tarik dan densitas, dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Pengaruh perbandingan dengan variasi serat 5%, 10% dan 15% pada proses pengujian tarik adalah semakin bertambahnya serat daun nanas yang diberikan maka nilai kekuatan tarik juga meningkat. Penelitian ini mendapatkan tegangan tertinggi pada variasi 15% serat daun nanas sebesar 4,210 MPa, regangan tertinggi pada variasi 15% serat daun nanas sebesar 0,687% dan modulus elastisitas tertinggi pada variasi 15% serat daun nanas 0,616 GPa. Nilai maksimum atau variasi serat terbaik yaitu pada variasi 15% serat daun nanas.
2. Pengaruh perbandingan dengan variasi serat 5%, 10% dan 15% pada proses pengujian densitas adalah semakin bertambahnya serat daun nanas maka nilai densitas akan semakin menurun. Penelitian ini mendapatkan nilai rata-rata densitas tertinggi pada variasi fraksi massa 5% serat daun nanas sebesar 1,646 gr/cm<sup>3</sup> dan nilai densitas terendah diperoleh variasi 15% serat daun nanas sebesar 1,581 gr/cm<sup>3</sup>

- [5] Endriatno, N. (2015). *Analisa Pengaruh Variasi Fraksi Volume Terhadap Densitas Dan Kekuatan Tarik Serat Pelepeh Pisang-Epoksi*. Dinamika: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, 6(2).
- [6] Nopriantina, N. (2013). *Pengaruh Ketebalan Serat Pelapah Pisang Kepok (Musa Paradisiaca) Terhadap Sifat Mekanik Material Komposit Poliester-serat Alam*. Jurnal Fisika Unand, 2(3)
- [7] Radhiyatullah, A., Indriani, N., Hendra, M., & Ginting, S. (2015). *Pengaruh Berat Pati dan Volume Plasticizer Gliserol Terhadap Karakteristik Film Bioplastik Pati Kentang*. In Jurnal Teknik Kimia USU (Vol. 4, Issue 3).

	<p><b>Komang Dicky Ari Prayudha</b> 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>	

## Daftar Pustaka

- [1] Setyanto, R. H. (2012). *Teknik Manufaktur Komposit Hijau dan Aplikasinya*. Performa: Media Ilmiah Teknik Industri, 11(1).
- [2] Callister, W. D. (2000). *Fundamentals Of Materials Science and Engineering* (Vol. 471660817). Wiley London.
- [3] Johanes, N. (2024). *Pengaruh Penambahan Serat Bambu Pada Matriks Sari Pati Kentang Terhadap Kekuatan Tarik dan Densitas Green Composite*. 1(1).
- [4] Hidayat, P. (2008). *Teknologi pemanfaatan serat daun nanas sebagai alternatif bahan baku tekstil*. Teknoin, 13(2).

# Analisis Pengaruh Penggunaan Heatsink Terhadap Pendinginan Sistem Maisotsenko Cycle-Indirect Evaporative Cooling Dengan Variasi Aliran Udara Menggunakan Komputasi Dinamika Fluida

Anditya Putra Wysnawan, Hendra Wijaksana, dan Ainul Ghurri  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

*Maisotsenko Cycle-Indirect Evaporative Cooling (M-IEC)* semakin diakui sebagai solusi ramah lingkungan untuk mengatasi tantangan efisiensi dalam sistem pendinginan. Siklus ini menggunakan prinsip pendinginan tidak langsung yang mengurangi penggunaan air dan energi secara signifikan, menjadikannya pilihan menarik untuk mengurangi dampak lingkungan dari proses pendinginan. Penelitian dilakukan dengan melakukan simulasi pada M-IEC menggunakan *software* ANSYS Fluent. Simulasi dilakukan dengan memvariasikan kecepatan udara 5 m/s, 7 m/s, dan 9 m/s serta menggunakan *heatsink* dan tanpa *heatsink* pada sisi dinding *product channel*. Semakin besar luas permukaan perpindahan panas atau menggunakan *heatsink*, suhu yang keluar pada *product channel* akan mengalami penurunan yang lebih signifikan. Tanpa menggunakan *heatsink*, penurunan suhu tidak begitu besar, yang berpengaruh pada *Dry Bulb Temperature Drop*, *Wet Bulb Effectiveness*, *Dew Point Effectiveness*, *Cooling Capacity*, dan *Energy Efficiency Ratio (EER)* yang menunjukkan performa lebih baik menggunakan *heatsink* dibandingkan tanpa *heatsink*.

*Kata kunci:* Ansys fluent, Efisiensi sistem pendinginan, Heatsink, Kecepatan udara, Maisotsenko Cycle-Indirect Evaporative Cooling.

## Abstract

*Maisotsenko Cycle-Indirect Evaporative Cooling (M-IEC)* is increasingly recognized as an environmentally friendly solution to address efficiency challenges in cooling systems. This cycle employs an indirect cooling principle that significantly reduces water and energy consumption, making it an attractive option for mitigating environmental impacts of cooling processes. Testing involved conducting simulations on M-IEC using ANSYS Fluent software. Simulations varied airflow speeds at 5 m/s, 7 m/s, and 9 m/s, and compared heatsink and non-heatsink configurations on the product channel wall. Increasing the heat transfer surface area or using a heatsink resulted in a more significant decrease in outlet temperature product channel. Conversely, without a heatsink, the temperature drop was less pronounced, affecting *Dry Bulb Temperature Drop*, *Wet Bulb Effectiveness*, *Dew Point Effectiveness*, *Cooling Capacity*, and *Energy Efficiency Ratio (EER)*, demonstrating better performance with heatsink usage compared to without.

*Keywords:* Ansys Fluent, Cooling system efficiency, Heatsink, Airflow velocity, Maisotsenko Cycle-Indirect Evaporative Cooling.

## 1. Pendahuluan

Meningkatnya permintaan akan efisiensi pendinginan di berbagai aplikasi membawa tantangan yang mendorong terciptanya inovasi dalam teknologi pendinginan. Dalam konteks ini, perhatian utama tertuju pada pengembangan sistem yang tidak hanya lebih efisien tetapi juga ramah lingkungan, sebagai upaya untuk memenuhi tuntutan meningkat akan kebutuhan pendinginan. Menurut *International Energy Agency (IEA)*, diperkirakan permintaan energi untuk sistem pendingin ruangan secara global akan mengalami peningkatan tiga kali lipat, setara dengan kebutuhan kapasitas listrik yang diperlukan untuk menyuplai energi ke Amerika Serikat, Eropa, dan Jepang. Di wilayah ASEAN, pertumbuhan mesin pendingin diperkirakan mencapai 35% pada tahun 2050 [1].

Pentingnya *Maisotsenko Cycle-Indirect Evaporative Cooling (M-IEC)* sebagai solusi yang ramah lingkungan semakin terasa dalam usaha menghadapi hambatan efisiensi dalam sistem pendinginan. Siklus ini mengadopsi prinsip

pendinginan tidak langsung dengan mengurangi sebesar mungkin penggunaan air dan energi, membuatnya menjadi opsi yang menarik untuk mengurangi dampak lingkungan yang disebabkan oleh proses pendinginan. Menerapkan teknologi M-Cycle dapat menurunkan penggunaan energi dan mengurangi emisi gas rumah kaca, membuatnya menjadi alternatif yang menarik untuk sistem pendinginan yang berkesinambungan [2].

Menggunakan *software* ANSYS Fluent dalam menganalisis respons termal sistem merupakan strategi penting untuk memahami secara mendalam respons termal sistem. Penerapan *software* ini memberikan keunggulan dalam melakukan simulasi dan analisis termal pada M-IEC, memberikan dukungan esensial untuk pengembangan teknologi pendinginan yang lebih efisien dan berkelanjutan. Simulasi menjadi suatu instrumen yang sangat penting dalam meningkatkan kinerja pertukaran panas, memilih material yang paling cocok, dan memprediksi ketahanan serta umur. Keandalan ini diberikan melalui kapabilitas aplikasi simulasi penukar panas Ansys [3]

Peneliti sebelumnya telah melaksanakan studi mendalam mengenai M-IEC. Mereka telah mengumpulkan data, menganalisis literatur, dan menjalankan eksperimen untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik tentang fenomena yang dipelajari. Selain itu, mereka juga telah mengusulkan atau mengembangkan beberapa model atau teori untuk menjelaskan hasil yang mereka peroleh dalam penelitian mereka sebelumnya. Sebaiknya plat penukar panas pada sisi wet channel menggunakan plat dengan ketebalan yang tipis dan bahan yang mempunyai konduktivitas termal yang baik sehingga perpindahan panas pada plat penukar panas yang didapat lebih maksimal [4]. Usulan penelitian ini bertujuan untuk melakukan validasi dan pengembangan lebih lanjut terhadap sistem M-IEC yang telah diteliti dalam skripsi sebelumnya. Ini melibatkan penelitian kembali konsep, perancangan, atau implementasi sistem, dengan fokus pada memverifikasi hasil sebelumnya dan meningkatkan kinerja atau efisiensi sistem. Melalui penelitian ini, diharapkan akan terjadi kontribusi tambahan terhadap pemahaman kita tentang sistem M-IEC dan aplikasinya dalam konteks yang lebih luas.

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka rumusan masalah dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh variasi kecepatan udara terhadap *output* pendinginan pada sistem M-IEC menggunakan ANSYS Fluent?
2. Bagaimana pengaruh penggunaan *heatsink* terhadap *output* pendinginan pada sistem M-IEC menggunakan ANSYS Fluent?

Dari rumusan masalah yang teridentifikasi, perlu dilakukan pembatasan penelitian pada penyelesaian masalah yang lebih sederhana tanpa mengurangi keakuratan analisis penelitian. Maka dalam penelitian ini keterbatasan penelitian akan mencakup beberapa hal, antara lain:

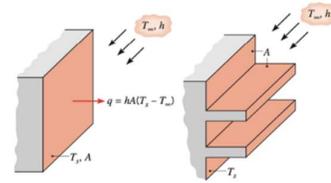
1. Simulasi dilakukan untuk mengoptimalkan dan merancang sebuah alat perpindahan panas M-IEC
2. Suhu lingkungan atau ruangan dianggap stabil
3. *Fouling factor* diabaikan
4. Laju aliran yang masuk tetap atau konstan
5. Proses analisis *heat exchanger* hanya mencakup penambahan permukaan pada *heatsink* dan kecepatan udara

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Heatsink

Heatsink adalah bagian yang diterapkan pada modul thermoelectric dan berperan dalam mengarahkan atau menyerap panas dari permukaan modul thermoelectric ke dalam bahan padat. Fungsi *heatsink* adalah untuk secara efektif menyerap atau melepaskan energi panas dari lingkungannya menggunakan berbagai permukaan seperti fin. Penggunaan *heatsink* pendingin mendukung berbagai aplikasi yang memerlukan pembuangan panas yang efisien. [5]. Hal ini bisa dicapai melalui peningkatan luas permukaan pendinginan menggunakan sirip-sirip

pada plat, serta melalui peningkatan koefisien perpindahan panas konveksi seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Sirip Meningkatkan Perpindahan Kalor dari Dinding Bidang

### 2.2 Perpindahan panas

Perpindahan panas adalah perpindahan energi dari benda atau bahan yang lebih panas ke benda atau bahan yang lebih dingin hingga tercapai kesetimbangan termal. Perpindahan panas adalah bidang ilmu yang memahami perpindahan energi yang disebabkan oleh perbedaan suhu antar benda atau bahan [6].

### 2.3 Heat Exchanger

Secara umum, *heat exchanger* merupakan elemen yang terintegrasi dalam sistem industri atau terutama dalam sistem tenaga uap, digunakan untuk mengalihkan atau transfer panas dari satu fluida ke fluida lainnya dengan maksud untuk mencapai peningkatan nilai ekonomis. Fungsi *heat exchanger* tidak hanya terbatas pada aplikasi pemanasan, tetapi juga diterapkan dalam sistem pendinginan seperti pada perangkat pendingin dan AC [7].

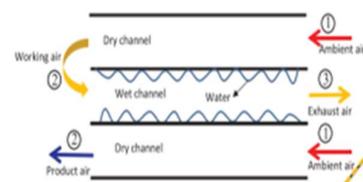
### 2.4 Evaporative Cooling

Pendinginan evaporatif merujuk pada suatu sistem pengkondisian udara yang memanfaatkan air untuk mereduksi suhu dan meningkatkan kelembaban pada aliran udara. Dengan demikian, *wet bulb temperature* menjadi lebih rendah setelah mengalami proses penguapan [8].

### 2.5 Maisotsenko Cycle

*Maisotsenko Cycle* (M-Cycle) menggunakan desain yang telah ditingkatkan dari sistem pendinginan *indirect evaporative cooling* seperti pada gambar 2. Dengan mempertahankan tingkat kelembaban udara produk secara konsisten, siklus ini berhasil mengurangi suhu udara hingga menyamai *ambient wet-bulb temperature* dan mendekati *dew-point temperature* ( $T_{dp}$ ), melalui suatu prosedur transfer panas dan massa yang cerdas [9].

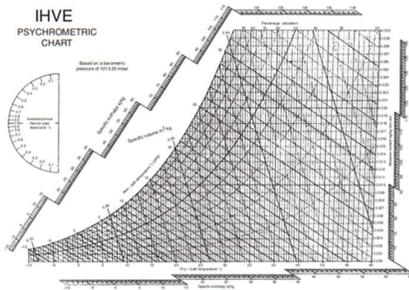
Gambar 2. Maisotsenko Cycle



### 2.6 Psychrometric Chart

*Psychrometric chart* adalah diagram yang menampilkan kombinasi antara uap air dan udara. Dalam *psychrometric chart* (gambar 3), terdapat beberapa parameter yang berasal dari campuran tersebut, seperti entalpi, rasio kelembaban,

kelembaban relatif, suhu udara kering (*dry bulb*), dan suhu udara basah (*wet bulb*) [10].



Gambar 3. Psychrometric chart

2.7 CFD

Computational Fluid Dynamics (CFD) mengacu pada metode analisis sistem yang mengkaji aliran fluida, perpindahan panas, dan fenomena terkait. Konsep ini mirip dengan simulasi reaksi kimia yang menggunakan teknik numerik berdasarkan perhitungan komputer. [11].

2.8 Persamaan Navier-Stokes

Persamaan Navier-Stokes terdiri dari sekumpulan persamaan diferensial non-linier yang mencirikan dinamika fluida. Biasanya, model turbulensi menyesuaikan persamaan (1) Navier-Stokes dengan memasukkan rata-rata dan fluktuasi yang signifikan, yang mengarah pada perumusan persamaan Reynolds Averaged Navier Stokes. Persamaan RANS diartikulasikan dalam kerangka persamaan CFD. [12].

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = \dots \quad (1)$$

$$-\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{u_i u_j})$$

3. Metode Penelitian

3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mencapai desain optimal pada sistem *Maisotsenko cycle-Indirect evaporative cooling*. Oleh karena itu, dilakukan metode simulasi dengan variasi variabel bebas yang berbeda, yang dipilih melalui proses perbandingan hingga mencapai nilai temperatur yang optimal. Simulasi dilakukan melalui perancangan alat dengan menggunakan simulasi analisis pada perangkat lunak Ansys Fluent.

3.2 Domain Komputasi

Simulasi ini terdapat beberapa domain komputasi yang dipengaruhi pada hasil simulasi, yaitu:

1. Geometri (gambar 4)
2. Selection type (gambar 5)
3. Meshing
4. Materials
5. Setup boundary condition
6. Solving

7. Processing
8. Post processing
9. Pengolahan data simulasi

3.3 Variabel Penelitian

1. Variabel Tetap

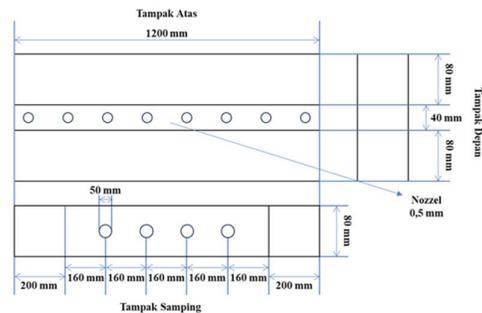
- Temperature inlet primary 35 °C
- Temperature inlet secondary 35 °C
- Temperature inlet water 24 °C (v = 7 m/s)
- Material heatsink (tembaga)
- Arah aliran fluida (*paralel flow*)

2. Variabel Bebas

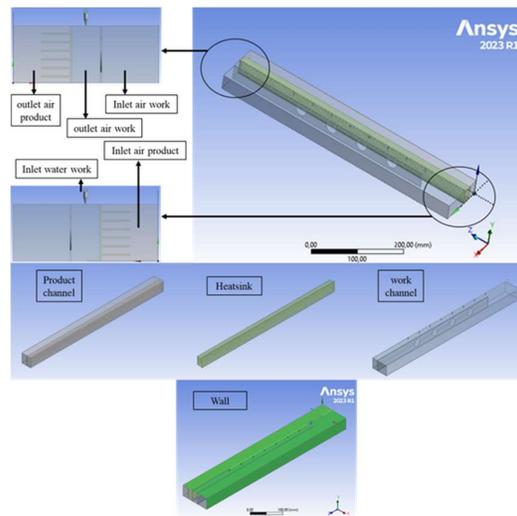
- Dengan heatsink dan tanpa heatsink
- Kecepatan Udara (5 m/s, 7 m/s, 9 m/s)

3. Variabel Terikat

- Dry bulb temperature drop
- Wet bulb effectiveness
- Dew point effectiveness
- Cooling capacity
- Energy Efficiency Ratio (EER)



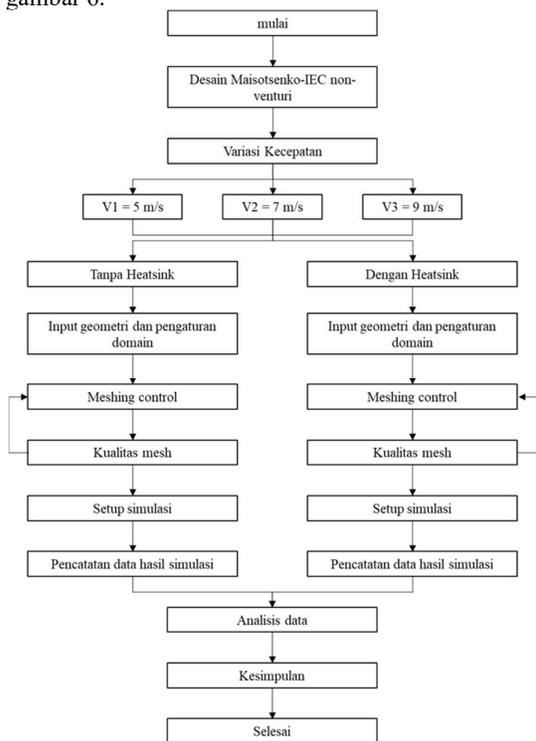
Gambar 4. Dimensi M-IEC



Gambar 5. Selection type pada Maisotsenko-IEC non-venturi

### 3.3 Kerangka Penelitian

Alur penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Diagram Alir Penelitian

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1. Pengolahan Data Simulasi

#### 1. Meshing

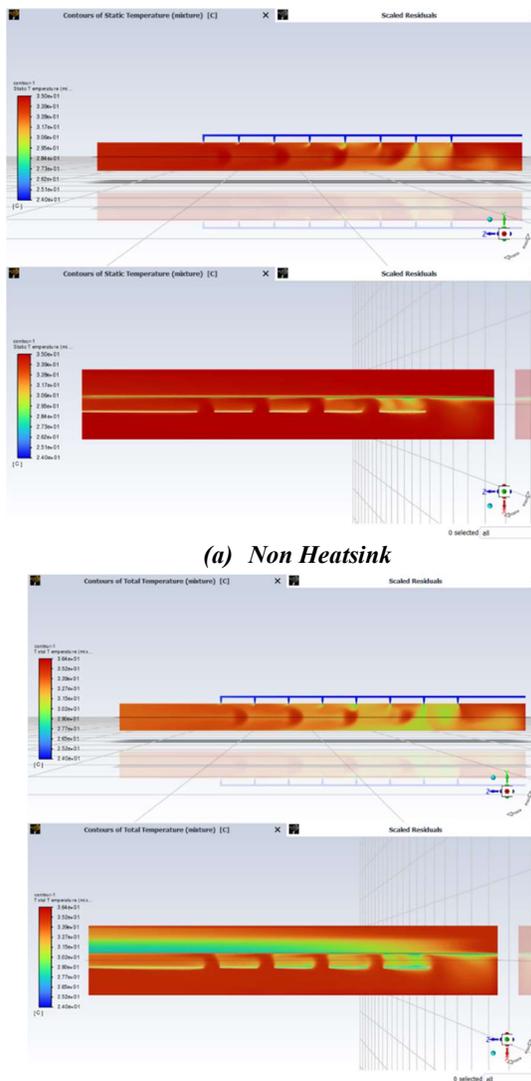
Metode *automes* dalam perangkat lunak Ansys Fluent digunakan untuk menghasilkan *mesh*, memungkinkan proses pembentukan *mesh* lebih cepat. Dalam simulasi ini, konfigurasi *mesh* adalah polyhedra. Jumlah total sel mencapai 1.173.653 untuk model yang dilengkapi heatsink, sedangkan model tanpa heatsink berjumlah 410.456 sel.

#### 2. Residual

Skema yang digunakan untuk simulasi merupakan *coupled*. Hasil residual dari setiap variasi yang disimulasikan hingga *konvergen*. Pada hasil *residual* ketika sudah mencapai *konvergen* menunjukkan nilai residual yang rendah, artinya Solusi yang diperoleh sudah cukup mendekati kondisi sebenarnya. Batasan yang dipakai pada proses simulasi bernilai 10<sup>-3</sup> untuk mencapai *konvergen*.

#### 3. Contours

*Contours temperature* dapat memperlihatkan proses pesebaran temperatur yang menunjukkan bagaimana temperatur berubah di berbagai titik pada proses simulasi. Pada gambar 7 penggunaan *heatsink* pada M-IEC memperlihatkan terjadinya perpindahan panas yang lebih besar daripada tidak memakai *heatsink* yang mengakibatkan temperatur dapat berkurang lebih besar.



Gambar 7. Contours Temperature

## 4. Hasil data simulasi

Tabel 1. Hasil temperatur dan entalpi *non heatsink*

V (m/s)	Tdb 1a (°C)	Entalpi 1a (kJ/kg)	Tdb 1b (°C)	Entalpi 1b (kJ/kg)
5	35	103.8	35	103.8
7	35	103.8	35	103.8
9	35	103.8	35	103.8
V (m/s)	Tdb 2 (°C)	Entalpi 2 (kJ/kg)	Tdb 4 (°C)	Entalpi 4 (kJ/kg)
5	33.6	96.9	34.3	89.8
7	33.9	98.1	34.4	91.7
9	34	98.9	34.5	93

**Tabel 2. Hasil temperatur dan entalpi *heatsink***

V (m/s)	Tdb 1a (°C)	Entalpi 1a (kJ/kg)	Tdb 1b (°C)	Entalpi 1b (kJ/kg)
5	35	100.6	35	100.6
7	35	100.6	35	100.6
9	35	100.6	35	100.6
V (m/s)	Tdb 2 (°C)	Entalpi 2 (kJ/kg)	Tdb 4 (°C)	Entalpi 4 (kJ/kg)
5	30.9	81.9	33.1	60.2
7	31.3	84.6	33.5	63.4
9	31.6	86.3	33.7	66.3

Setelah proses simulasi sudah selesai didapatkan data yang dimana menunjukkan temperatur *outlet* (Tdb 2 dan Tdb 4) dan entalpi *outlet* (entalpi 2 dan entalpi 4). Dari hasil simulasi menggambarkan nilai entalpi *outlet* memiliki nilai lebih rendah dari pada *inlet* dan temperatur *outlet* lebih rendah dari pada temperatur *inlet*.

5. Distribusi Temperatur Udara dan Kelembaban Relatif

**Tabel 3. Distribusi udara dan kelembaban relatif non *heatsink***

V (m/s)	Tdb 1a (°C)	Twb 1a (°C)	Rh 1a (%)	Tdb 1b (°C)	
5	35	30.7	73.9	35	
7	35	30.7	73.9	35	
9	35	30.7	73.9	35	
V (m/s)	Twb 1b (°C)	Rh 1b (%)	Tdb 2 (°C)	Twb 2 (°C)	
5	30.7	73.9	33.6	29.4	
7	30.7	73.9	33.9	29.6	
9	30.7	73.9	34	29.8	
V (m/s)	Rh 2 (%)	Tdb 4 (°C)	Twb 4 (°C)	Rh 4 (%)	T. dew
5	73.8	34.3	28	65.2	29.6
7	73.6	34.4	28.4	64.1	29.6
9	73.9	34.5	28.6	65	29.6

**Tabel 4. Distribusi udara dan kelembaban relatif *heatsink***

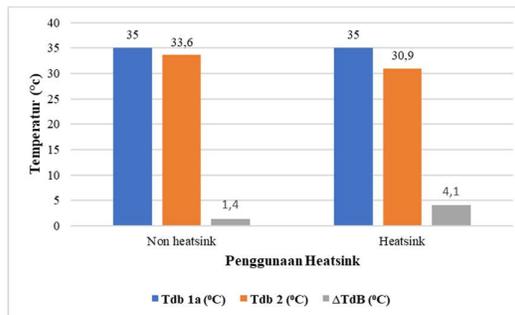
V (m/s)	Tdb 1a (°C)	Twb 1a (°C)	Rh 1a (%)	Tdb 1b (°C)
5	35	30.1	70.6	35
7	35	30.1	70.6	35
9	35	30.1	70.6	35
V (m/s)	Twb 1b (°C)	Rh 1b (%)	Tdb 2 (°C)	Twb 2 (°C)
5	30.1	70.6	30.9	26.3
7	30.1	70.6	31.3	26.8
9	30.1	70.6	31.6	27.2

V (m/s)	Rh 2 (%)	Tdb 4 (°C)	Twb 4 (°C)	Rh 4 (%)	T. dew
5	69.9	33.1	20.8	33.1	28.8
7	71.3	33.5	21.7	35.6	28.8
9	71.8	33.7	22.5	38.4	28.8

Berdasarkan ke-6 data simulasi temperatur diatas, selanjutnya akan ditentukan dry bulb temperature drop, efektivitas bola basah (*wet bulb effectiveness*), efektivitas titik embun (*dew point effectiveness*), *cooling capacity*, *energy efficiency ratio* (EER). Dengan catatan perbandingan akan menggunakan data dari kecepatan 5 m/s baik dengan *heatsink* maupun tanpa *heatsink* dikarenakan merupakan hasil terbaik dari masing – masing variasi.

**4.2 Selisih Penurunan Temperatur Bola Kering (*Temperature Drop*)**

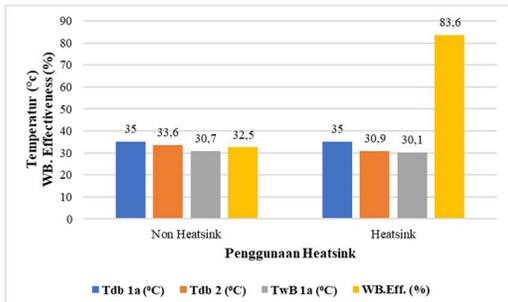
Berdasarkan Gambar 8. dapat dilihat bahwa selisih penurunan temperatur bola kering tertinggi didapat pada saat penggunaan *heatsink*. Juga dapat dilihat, penggunaan *heatsink* akan menghasilkan selisih penurunan temperatur bola kering semakin besar. Hal ini disebabkan oleh luas penampang yang lebih besar dari pada tidak memakai *heatsink*. Sehingga lebih besar pula panas sensibel udara yang dapat dipindahkan secara konveksi ke plat penukar panas.



**Gambar 8. Grafik selisih penurunan Tdb**

**4.3 Wet Bulb Effectiveness**

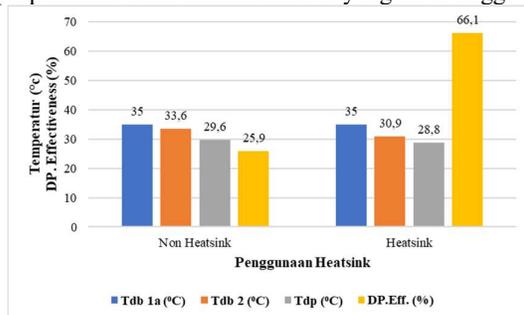
Gambar 9 memperlihatkan *wet bulb effectiveness* (WBE) tertinggi dihasilkan pada penggunaan *heatsink* yakni sebesar 83.6%, sedangkan WBE terendah terjadi pada *non heatsink* yakni sebesar 32.5%. Hasil WBE tinggi pada penggunaan *heatsink* diperoleh karena memiliki ΔTdb yang paling besar (4.1 °C), yang diikuti tempertur bola kering *outlet* (Tdb 2) sudah cukup mendekati dengan temperatur bola basah *inlet* (Twb 1a). Sedangkan pada *non heatsink* hanya masih cukup jauh untuk mendekati temeperatur bola basah (Twb 1a). Dengan demikian, dapat dinyatakan bahwa dengan penggunaan *heatsink* udara *inlet* akan membawa kapasitas panas yang lebih besar, sehingga lebih banyak panas sensibel udara yang dapat ditransfer secara konveksi ke plat penukar panas.



Gambar 9. Grafik temperatur udara dan wet bulb effectiveness

#### 4.4 Dew Point Effectiveness

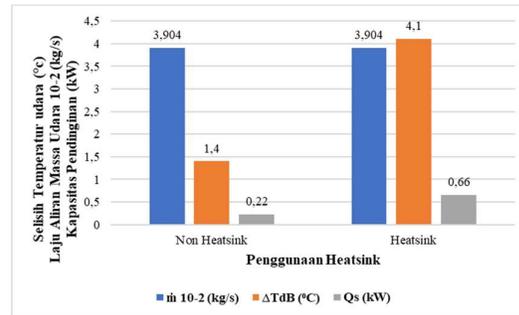
Berdasarkan pada Gambar 10 dapat dilihat bahwa dew point effectiveness (DPE) tertinggi dihasilkan pada penggunaan *heatsink*, yakni sebesar 66%, sedangkan DPE terendah terjadi pada *non heatsink* yakni sebesar 25.9%. Hasil DPE tinggi pada penggunaan *heatsink* didapat karena luas penampang perpindahan panas lebih besar. Dengan lebih besarnya luas penampang perpindahan panas mengakibatkan lebih banyak panas sensibel udara terserap oleh plat penukar panas secara konveksi, sehingga menghasilkan selisih temperatur bola kering ( $\Delta T_{DB}$ ) yang lebih besar. Dengan demikian secara proporsional akan dihasilkan DPE yang lebih tinggi.



Gambar 10. Grafik temperatur udara dan dew point effectiveness

#### 4.5 Kapasitas Pendinginan

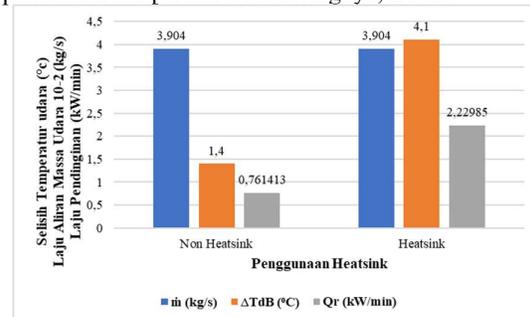
Pada Gambar 11 dapat dilihat bahwa kapasitas pendinginan tertinggi dihasilkan pada penggunaan *heatsink* yakni sebesar 0.66 kW dan kapasitas pendingin terendah terjadi pada *non heatsink* yakni hanya sebesar 0.22 kW. Berdasarkan sistem pendinginan, luas penampang perpindahan panas yang lebih besar dapat meningkatkan proses perpindahan panas dari product channel ke wet channel. Dengan demikian dapat kiranya dikatakan bahwa kapasitas pendinginan sistim tergantung pada proses perpindahan panas yang terjadi pada sistem, serta selisih temperatur bola kering  $\Delta T_{DB}$  yang dicapai.



Gambar 11. Grafik kapasitas pendinginan

#### 4.6 Laju Pendinginan

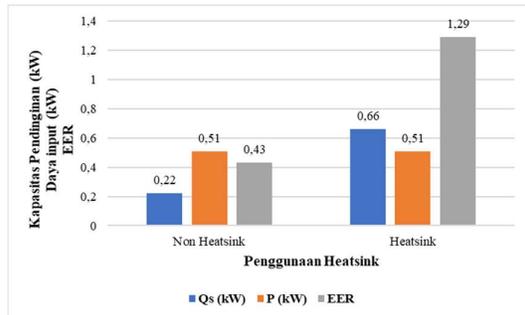
Pada Gambar 12 Laju pendinginan tertinggi dicapai pada penggunaan *heatsink* sebesar 0.0222985 kW/min, sedangkan laju pendinginan terendah akan terjadi pada *non heatsink* dengan laju pendinginan hanya sebesar 0.00761413 kW/min. Hal ini disebabkan karena yang memiliki luas penampang perpindahan panas yang lebih besar akan membawa jumlah panas yang lebih besar, serta lebih cepat mengalami pendinginan dan juga lebih banyak jumlah panas yang mampu didinginkan, untuk satu rentang waktu tertentu. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa laju pendinginan sangat tergantung pada luas penampang perpindahan panas serta selisih penurunan temperatur bola keringnya,  $\Delta T_{DB}$ .



Gambar 12. Grafik laju pendinginan

#### 4.7 Energy Efficiency Ratio (EER)

Berdasarkan pada Gambar 13 dapat diperlihatkan bahwa *energy efficiency ratio* (EER) tertinggi sebesar 1,29 dihasilkan pada penggunaan *heatsink*, sedangkan EER terendah sebesar 0,43 dicapai pada *non heatsink*. Hal ini terjadi karena pada daya *input* yang sama yakni sebesar 0.51 kW. Pada penggunaan *heatsink* dapat menghasilkan kapasitas pendinginan yang tertinggi yakni sebesar 0.66 kW. Dari hasil penelitian tersebut, dapat dikatakan bahwa pada besarnya daya input yang sama, besarnya EER sangat tergantung pada kapasitas pendinginan yang dihasilkan, dimana kapasitas pendinginan juga akan meningkat dengan meningkatnya perpindahan panas pada plat.



Gambar 13. Grafik Energy Efficiency Ratio

## 5. Kesimpulan dan Saran

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan simulasi dari hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi dari kecepatan aliran udara berpengaruh pada hasil temperatur dan kelembaban yang berbeda. Pada variasi aliran udara yang memiliki selisih temperatur tertinggi jatuh pada kecepatan 5 m/s dengan selisih suhu 1.4 °C (tanpa *heatsink*) dan 4.1 °C (dengan *heatsink*). Sedangkan untuk selisih temperatur terendah terjadi pada variasi kecepatan 9 m/s dengan selisih suhu 1 °C (tanpa *heatsink*) dan 3.4 °C (dengan *heatsink*).

Dengan memperbesar luas penampang perpindahan panas atau menggunakan *heatsink* sangat berpengaruh dalam penurunan temperatur dari pada tanpa menggunakan *heatsink*, yang mengakibatkan pada *Dry Bulb Temperature Drop*, *Wet Bulb Effectiveness*, *Dew Point Effectiveness*, *Cooling Capacity*, dan *Energy Efficiency Ratio* (EER) memiliki hasil lebih baik menggunakan *heatsink* daripada tanpa *heatsink*.

### 5.2 Saran

1. Sebaiknya jumlah *fin* pada *heatsink* dibuat lebih banyak agar semakin besar luas penampang pada perpindahan panas.
2. Gunakan lebih banyak variasi kecepatan aliran udara agar mendapat hasil yang optimal.
3. Melakukan validasi dengan cara mempraktekan secara eksperimen agar mengetahui lebih lanjut performa pendinginan.

### Daftar Pustaka

- [1] Arvirianty, A. (2018, July 16). Wah, Pemakaian Ac Bikin Konsumsi Listrik Dunia Meroket. Cnbc Indonesia.
- [2] Taler, J., Jagieła, B., & Jaremkiewicz, M. (2022). Overview Of The M-Cycle Technology For Air Conditioning And Cooling Applications. *Energies*, 15(5).
- [3] Ansys Fluent. (2023). Modeling & Simulation Of Heat Exchangers. Ansys.
- [4] Pramagandi, I. K. A. (2023). Studi Eksperimental Unjuk Kerja Pendinginan

Sistem Maisotsenko - Indirect Evaporative Cooling Non-Venturi Dry Channel 5 Lajuan Dengan Aliran Udara Horizontal Counter Flow.

- [5] Anggraini, R., F.Sudarma, A., Yuliarty, P., & V.Enriko, F. (2020). Perancangan Heatsink Untuk Lampu Led Menggunakan Simulasi Cfd. *Jurnal Teknik Industri Itn Malang*.
- [6] Lusiani, Rismaningsih, F., Sudirman, Noor, I., Indrawati, F., Budi Putranti, A., Fitriani, A., Gela M Saka, B., Indrayana, I. P. T., Purwanti, P., Setiawan, J., Malik, Y., & Fenty Anggraeni, E. (2022). PERPINDAHAN KALOR (S. Haryanti, Ed.). CV. MEDIA SAINS INDONESIA.
- [7] Sejati, A. W. (2018). Hambatan Perpindahan Panas Akibat Kerak Caco3 Pada Pipa Heat Exchanger Tipe Shell And Tube Dan Pengendaliannya Dengan Aditif Asam Format Dan Asam Oksalat.
- [8] Sunarwo. (2011). Pembuatan Dan Pengujian Evaporative Cooling. *Jurnal Teknik Energi* , 7 No.1, 31–34.
- [9] Tertipis, D., & Rogdakis, E. (2015). Maisotsenko Cycle: Technology Overview And Energy-Saving Potential In Cooling Systems. *Energy And Emission Control Technologies*, 15.
- [10] Tegar Oktianto, A., & Prabowo. (2014). Studi Eksperimen Pengaruh Sudut Blade Tipe Single Row Distributor Pada Swirling Fluidized Bed Coal Dryer Terhadap Karakteristik Pengeringan Batubara. *Jurnal Teknik Pomits*, 3.
- [11] Akmal, S., Za, N., & Ishak. (2019). Analisa Profil Aliran Fluida Cair Dan Pressure Drop Pada Pipa L Menggunakan Metode Simulasi Computational Fluid Dynamic (Cfd). *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*.
- [12] Sadlie, A. K. (2018). Validasi Model Turbulensi Pada Simulasi Numerik Menggunakan Software Fluent Dengan Sayap Onera M6 Validation Of Turbulence Model In Numerical Simulation Using Fluent Software With Wings Onera M6.

 A portrait of a young man with short black hair, wearing a white dress shirt and a dark tie, set against a solid red background.	<p><b>Anditya Putra Wysnawan</b> menyelesaikan studi S1 Teknik Mesin di Universitas Udayana, pada tahun 2024</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan konversi energi</p>	

# Sintesis Katalis Platina-Titanium Dioksida Didukung Vulcan XC-72 dan Karakterisasinya Menggunakan Pengujian Cyclic Voltammetry

Amelia Situmorang<sup>1</sup>, Made Joni<sup>2</sup>, Made Suarda<sup>1</sup>, Ketut Astawa<sup>1</sup>, Made Sucipta<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin - Universitas Udayana, Bukit Jimbaran, Bali

<sup>2</sup>Finder U-CoE - Universitas Padjadjaran, Jatinangor, Jawa Barat

## Abstrak

Mengganti bahan bakar fosil menjadi energi hidrogen menjadi solusi untuk mengurangi masalah lingkungan dan permintaan energi bahan bakar fosil yang semakin meningkat. Energi listrik yang dihasilkan dari energi hidrogen dapat menggunakan Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) yang salah satu komponen utamanya adalah katalis untuk memfasilitasi terjadinya reaksi. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengurangi penggunaan platina sebagai material utama katalis dengan sintesis material Platina, TiO<sub>2</sub> dan Vulcan XC-72 dengan memvariasikan massa pada tiga sampel katalis. Sintesis katalis dilakukan dengan dua metode yaitu metode hidrotermal dan fotodeposisi. Katalis yang disintesis dilakukan uji cyclic voltammetry (CV) untuk mengetahui adanya respon arus terhadap potensial sebagai tanda bahwa katalis tersebut layak digunakan sebagai katalis pada PEMFC. Dari variasi massa pada sampel katalis ditemukan bahwa Sampel 3 dengan massa platina terbanyak menunjukkan hasil yang paling baik pada uji CV yaitu memiliki puncak arus yang paling tinggi dari sampel katalis yang lain.

**Kata Kunci:** Katalis, PEMFC, Sintesis, Uji Cyclic Voltammetry

## Abstract

Replacing fossil fuels with hydrogen energy is a solution to reduce environmental problems and the increasing demand for fossil fuel energy. The electrical power generated by hydrogen energy can use a Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC), one of the main components of which is a catalyst to facilitate the reaction. The main objective of this research is to reduce the use of platinum as the main catalyst material by synthesizing platinum, TiO<sub>2</sub>, and Vulcan XC-72 materials which are varied in mass on three catalyst samples. Catalyst synthesis was prepared through two methods, namely hydrothermal and photo-deposition methods. The synthesized catalysts were subjected to a cyclic voltammetry (CV) test to determine the current response to potential. The result will indicate that the catalyst is suitable for use in PEMFC. From the mass variation in the catalyst samples, it was found that Sample 3 with the highest mass of platinum showed the best results in the CV test, which had the highest current peak of the other catalyst samples.

**Keywords:** Catalyst, PEMFC, Synthesis, Cyclic Voltammetry Test.

## 1. Pendahuluan

Pemanasan global dan perubahan iklim yang ekstrim meningkat dari tahun ketahun menjadi perhatian dunia serta memerlukan penanganan yang cepat. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya emisi dari bahan bakar utama yang digunakan masyarakat yaitu fosil. Bahan bakar fosil yang digunakan bermacam-macam mulai dari gas alam, batubara dan juga minyak bumi. Meskipun bahan bakar fosil telah menjadi sumber bahan bakar dalam jangka waktu yang lama dan memainkan peran penting dalam penggunaan energi sehari hari, namun dampak yang ditimbulkan tidak dapat diabaikan [1].

Selain itu penggunaan bahan bakar fosil secara terus menerus mengakibatkan penipisan bahan bakar dikarenakan bahan bakar fosil tidak dapat diperbaharui sehingga masyarakat memerlukan energi alternatif yang lebih ramah

lingkungan dan mudah diperoleh. Salah satu sumber energi yang ramah lingkungan dan diperkirakan akan menjadi sumber energi masa depan adalah hidrogen. Hidrogen memiliki kepadatan energi tinggi tanpa menghasilkan emisi dan aman untuk lingkungan.

Salah satu teknologi yang memanfaatkan hidrogen sebagai bahan bakar adalah *fuel cell* yang lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan mesin pembakaran konvensional. Hidrogen dimanfaatkan oleh *fuel cell* dengan mengubah energi kimia menjadi energi listrik yang menghasilkan emisi berupa air dan panas. *Fuel cell* dapat beroperasi dengan efisiensi yang tinggi hingga mencapai lebih dari 60% [2].

Salah satu jenis *fuel cell* yang memiliki banyak keunggulan dibanding dengan *fuel cell* lain adalah *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) karena memiliki efisiensi yang tinggi terutama dalam mengubah energi kimia

menjadi energi listrik. Selain itu kelebihan dari PEMFC, yaitu tingkat kebisingan dan suhu yang rendah saat sedang beroperasi, dan memiliki masa pakai yang lama. Salah satu bagian terpenting dari PEMFC adalah Katalis. Katalis menjadi tempat terjadinya reaksi kimia secara langsung pada PEMFC untuk mengubah hidrogen menjadi energi listrik [3].

Sejauh ini katalis dengan material platinum yang didukung karbon menjadi kinerja terbaik sebagai katalis yang banyak digunakan. Karbon memiliki keunggulan yakni memiliki konduktivitas listrik yang tinggi dan biaya yang rendah. Salah satu jenis karbon yang banyak digunakan adalah Vulcan XC-72 yang mampu meningkatkan aktivasi pada platina. Tetapi, Pt/Vulcan XC-72 memiliki kesulitan komersial karena selain harga platina yang mahal, terjadi juga masalah degradasi, aglomerasi dan korosi pada karbon [4].

Strategi yang digunakan untuk mengatasi masalah ini adalah menggunakan material berstruktur nano seperti Titanium Dioksida ( $\text{TiO}_2$ ) untuk menghasilkan kinerja terbaik PEMFC.  $\text{TiO}_2$  secara termodinamika memiliki ketahanan yang tinggi terhadap korositas serta stabilitas termal dan elektrokimia yang baik didalam katalis. Katalis dengan campuran material  $\text{TiO}_2$  menunjukkan stabilitas dan daya tahan yang baik sehingga cocok dijadikan sebagai material pada katalis. Meskipun  $\text{TiO}_2$  memiliki konduktivitas yang rendah karena merupakan semi konduktor namun hal tersebut bisa diatasi dengan penggabungan  $\text{TiO}_2$  dan Vulcan XC-72. Sintesis katalis Pt/Vulcan XC-72 dengan substitusi nanopartikel  $\text{TiO}_2$  dari Pt akan menjadi solusi yang efektif dalam peningkatan aktivitas elektrokimia untuk ORR karena memiliki konduktivitas yang tinggi dan mengurangi aglomerasi partikel pada katalis PEMFC [5].

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini, yaitu untuk menganalisis hubungan arus listrik terhadap perubahan potensial dari katalis Pt. $\text{TiO}_2$ /Vulcan XC-72. Untuk mendapatkan hasil yang diinginkan dari luasnya permasalahan yang ada, maka perlu dilakukan pembatasan yaitu kemurnian bahan dan material katalis yang digunakan sesuai dengan standar yang tersedia secara komersial, parameter lingkungan tertentu seperti temperatur dan tekanan diasumsikan konstan.

## 2. Dasar Teori

### 2.1. Hidrogen

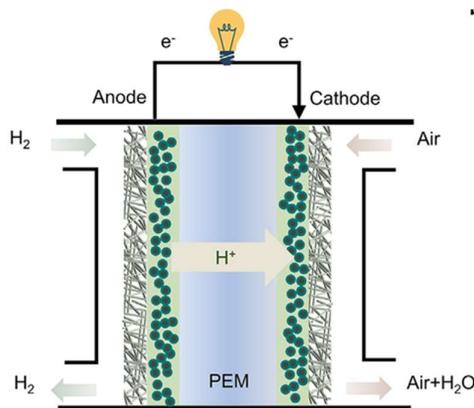
Hidrogen merupakan bahan bakar alternatif baru dalam mengatasi isu lingkungan dan krisis energi fosil dengan jejak nol emisi gas rumah kaca. Hidrogen dapat digunakan dalam berbagai sektor beberapa diantaranya untuk

menggerakkan kendaraan, pembangkit listrik, produksi baja, pengolahan logam, produksi pupuk dan lain-lain. Secara umum aplikasi yang banyak dikembangkan menggunakan energi hidrogen adalah sektor transportasi dan produksi panas listrik [4].

### 2.2. Proton Exchange Membrane Fuel Cell

Proses elektrokimia pada PEMFC akan mengubah energi kimia bahan bakar menjadi energi listrik melalui reaksi elektrokimia. PEMFC menjadi sumber energi yang menjanjikan karena menghasilkan energi yang rendah polusi, memiliki efisiensi konversi energi yang tinggi dan memiliki suhu pengoperasian yang rendah [6].

Prinsip skema dasar PEMFC ditunjukkan pada Gambar 1, dimana pada sisi *anode* terjadi *hydrogen oxidation reaction* (HOR) dan disisi *cathode* terjadi *oxygen reduction reaction* (ORR).



Gambar 1. Skema dasar PEMFC [6]

### 2.3. Katalis

Katalis merupakan salah satu komponen penting dalam kinerja PEMFC. Katalis diterapkan pada membran untuk memfasilitasi terjadinya reaksi dan memainkan peran penting selama pengoperasian. Untuk itu bahan pendukung dari katalis menjadi hal yang penting terutama dalam meningkatkan stabilitas, peningkatan kinerja katalitik dan daya tahan katalis dengan material seperti zat berbasis karbon [7].

### 2.4. Material Sintesis

Platina menjadi material katalis yang paling utama dan banyak digunakan. Platina memiliki sifat katalitik dan adsorpsi hidrogen yang menjadikan platina menjadi bahan utama penyusunan katalis. Platina juga memiliki ketahanan korosi yang tinggi sehingga banyak digunakan untuk berbagai aplikasi meskipun harganya sangat mahal [8].

TiO<sub>2</sub> menjadi salah satu material penyusun katalis yang merupakan nanopartikel yang bersifat semikonduktor. Namun keunggulan utama TiO<sub>2</sub> adalah ketahanan korosi dan kestabilan sehingga kondisi pengoperasian baik meskipun dalam lingkungan asam dan suhu tinggi. Disamping itu TiO<sub>2</sub> memiliki konduktivitas rendah, namun strategi yang paling umum digunakan untuk meningkatkan konduktivitas adalah dengan mencampur dengan bahan konduktif seperti karbon dan platina [9].

Vulcan XC-72 digunakan sebagai wadah permukaan untuk menempelnya nanopartikel TiO<sub>2</sub> dan Platina sebagai material penyusun katalis. Vulcan XC-72 memiliki luas permukaan besar sebagai media dispersi Platina dan nanopartikel TiO<sub>2</sub> [4]. Material yang digunakan pada sintesis katalis tersebut ditunjukkan seperti Gambar 2.



Gambar 2. (a) H<sub>2</sub>PtCl<sub>6</sub>, (b) TiO<sub>2</sub>, dan (c) Vulcan XC-72

### 3. Metode penelitian

#### 3.1 Metode Sintesis Katalis

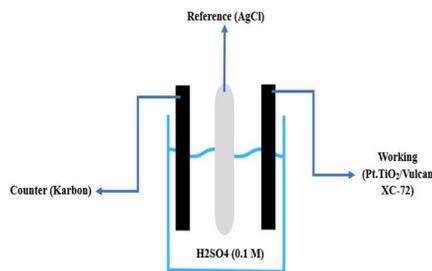
Sintesis katalis ini dilakukan dengan menggunakan dua metode yaitu metode hidrotermal dan fotodeposisi dengan memvariasikan massa masing-masing material. Sampel 1 dengan variasi 0,3 gr Vulcan XC-72; 0,15 gr TiO<sub>2</sub>; 0,05 gr Pt, Sampel 2 dengan variasi massa 0,3 gr Vulcan XC-72; 0,10 gr TiO<sub>2</sub>; 0,10 gr Pt, dan Sampel 3 dengan variasi massa 0,3 gr Vulcan XC-72; 0,05 gr TiO<sub>2</sub>; 0,15 gr Pt. Metode hidrotermal digunakan untuk mensintesis material Vulcan XC-72 dengan TiO<sub>2</sub>. Material Vulcan XC-72 dicampur dengan etanol sebanyak 35 ml dan dilakukan ultrasonikasi selama 1 jam. Campuran tersebut kemudian ditambahkan material TiO<sub>2</sub> dan diultrasonikasi selama 2 jam dan kemudian dimasukkan kedalam *autoclave* untuk dioven selama 8 jam dengan temperatur 180°C. Selanjutnya campuran dicuci menggunakan aquades dan dikeringkan pada oven vakum untuk menghasilkan *powder* katalis.

Setelah berhasil dilakukan sintesis berupa *powder* pada dua material tersebut selanjutnya dilakukan sintesis H<sub>2</sub>PtCl<sub>6</sub> menggunakan metode fotodeposisi. Vulcan XC-72. TiO<sub>2</sub> dilarutkan kembali menggunakan metanol 100 ml dan diultrasonikasi selama 1 jam.

Campuran tersebut kemudian dimasukkan kedalam reaktor kaca untuk dilakukan pembersihan menggunakan nitrogen selama 1 jam dan dilakukan penyinaran selama 5 jam. Campuran tersebut dicuci menggunakan etanol dan aquades kemudian dikeringkan didalam oven vakum untuk menghasilkan *powder* katalis Pt.TiO<sub>2</sub>/Vulcan XC-72. Katalis yang berhasil disintesis dilakukan uji *Cyclic Voltammetry* (CV) untuk mengetahui respon tegangan-arus dari katalis.

#### 3.2 Metode Uji

Uji cyclic voltammetry (CV) merupakan teknik elektrokimia yang digunakan untuk mengukur arus yang berkembang sebagai respon dari elektroda kerja terhadap pengaruh potensial. Pengujian yang menggunakan alat uji BST8-STAT yang dihubungkan ke komputer untuk mendapatkan hasil uji. Pengujian memerlukan 0,1 gr *powder* katalis dengan campuran etanol. Campuran tersebut di-*coating* diatas akrilik untuk dilakukan pengujian. Semua pengukuran elektrokimia dilakukan dengan tiga pengaturan yang dilengkapi dengan AgCl sebagai *reference electrode*, lembaran karbon sebagai *counter electrode*, dan sampel katalis Pt.TiO<sub>2</sub>/Vulcan XC-72 sebagai *working electrode* yang secara skematik ditunjukkan pada Gambar 3.

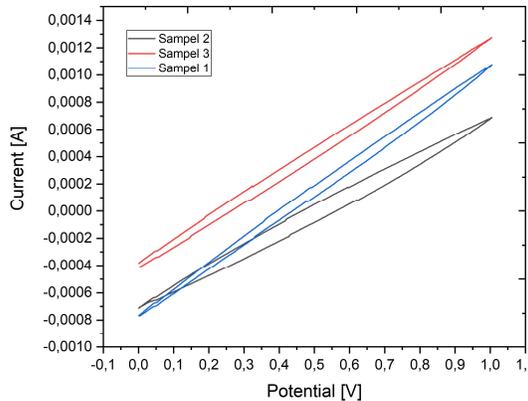


Gambar 3. Workstation uji Cyclic Voltammetry

#### 4. Hasil Uji Cyclic Voltammetry

Dari penelitian ini, tiga sampel katalis berhasil disintesis dengan metode hidrotermal dan fotodeposisi menghasilkan respon arus terhadap potensial dari hasil uji CV. Dari hasil uji CV pada ketiga sampel katalis, grafik pada Sampel 3 dengan jumlah Pt terbanyak menunjukkan puncak arus yang lebih tinggi dibanding Sampel 2 dan Sampel 1 yang menggunakan variasi massa Pt yang lebih sedikit dibandingkan Sampel 3. Puncak arus masing-masing sampel dapat dilihat dan dibandingkan seperti pada Gambar 4.

Dari hasil uji CV, Sampel 3 menunjukkan puncak arus 0,0014A, pada Sampel 2 puncak arus 0,0008A dan Sampel 1 puncak arus di 0,0010A.



Gambar 4. Hasil uji CV seluruh Sampel

Hasil puncak arus yang paling tinggi pada Sampel 3 dapat disebabkan oleh platina sebagai material utama yang digunakan pada sintesis katalis ini memiliki konduktivitas listrik yang tinggi. Jadi, semakin banyak penggunaan platina maka semakin baik pula konduktivitas listrik pada katalis. Sedangkan Sampel 1 dengan jumlah platina paling sedikit dari semua sampel menunjukkan titik awal arus yang lebih kecil yaitu di  $-0,0008\text{A}$  sedangkan pada sampel 2 di  $-0,0007\text{A}$  yang artinya Sampel 1 berada dibawah Sampel 2.

Namun dalam prosesnya Sampel 1 mengalami peningkatan yang signifikan hingga melewati puncak arus pada Sampel 2. Hal ini dikarenakan katalis pada Sampel 1 mengalami aglomerasi pada pengujian sebelumnya. Dari uji CV ini terbukti bahwa sampel dengan jumlah variasi platina terbanyak memiliki puncak arus yang lebih tinggi. Dan setiap sampel katalis yang disintesis menunjukkan respon elektrokimia pada uji CV tersebut.

## 5. Kesimpulan

Hubungan potensial arus listrik yang dihasilkan masing masing sampel menunjukkan adanya hubungan positif antara potensial yang diterapkan dan arus yang dihasilkan oleh katalis. Peningkatan arus seiring dengan peningkatan potensial menunjukkan bahwa katalis memiliki aktivitas elektrokimia. Dari hasil ketiga sampel, Sampel 3 dengan material platina terbanyak menunjukkan puncak arus yang paling tinggi dari sampel yang lain dengan variasi platina lebih sedikit.

## Daftar Pustaka

- [1] Hosseini, S. E. (2022). Transition away from fossil fuels toward renewables: lessons from Russia-Ukraine crisis. *Future Energy*, 1(1).
- [2] Jamal, T., Shafiullah, G. M., Dawood, F., Kaur, A., Arif, M. T., Pugazhendhi, R.,

Elavarasan, R. M., & Ahmed, S. F. (2023). Fuelling the future: An in-depth review of recent trends, challenges and opportunities of hydrogen fuel cell for a sustainable hydrogen economy. In *Energy Reports* (Vol. 10, pp. 2103–2127).

- [3] Wei, Y., Xu, L., Li, Y., & Tan, J. (2022). Better Electrochemical Performance of PEMFC with a Symmetrical Serpentine Flow Field Bipolar Plate. *International Journal of Electrochemical Science*, 17.
- [4] Hanifah, M. F. R., Jaafar, J., Aziz, M., Othman, M. H. D., Ismail, A. F., A. Rahman, M., Wan Ikhsan, S. N., Ur Rehman, G., Abdul Ajid, A. Z., & Salleh, S. Z. (2020). Advanced Vulcan XC-72@PtNPs and graphite@PtNPs nanocomposite electrocatalyst towards electrooxidation of methanol: A comparison study. *Materials Today: Proceedings*, 46, 1889–1894.
- [5] Wang, J., Xu, M., Zhao, J., Fang, H., Huang, Q., Xiao, W., Li, T., & Wang, D. (2018). Anchoring ultrafine Pt electrocatalysts on TiO<sub>2</sub>-C via photochemical strategy to enhance the stability and efficiency for oxygen reduction reaction. *Applied Catalysis B: Environmental*, 237, 228–236.
- [6] Wang, Z., Liu, Z., Fan, L., Du, Q., & Jiao, K. (2023). Application progress of small-scale proton exchange membrane fuel cell. *Energy Reviews*, 2(2).
- [7] Hindson, W. A., & James, S. (2024). Effects of surface modification on a proton exchange membrane for improvements in green hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 49, 1040–1047
- [8] Kolbadinejad, S., & Ghaemi, A. (2023). Recovery and extraction of platinum from spent catalysts: A review. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 7.
- [9] Lavacchi, A., Bellini, M., Berretti, E., Chen, Y., Marchionni, A., Miller, H. A., & Vizza, F. (2021). Titanium dioxide nanomaterials in electrocatalysis for energy. In *Current Opinion in Electrochemistry* (Vol. 28).



**Amelia Situmorang** melanjutkan studi di Program Sarjana Teknik Mesin Universitas Udayana pada tahun 2020. Bidang penelitian yang diminati adalah *sustainable energy*, salah satunya adalah hydrogen energy yang saat ini ditekuni sebagai topik penelitian tugas akhir.

# Pengaruh Variasi Temperatur Kerja Reaktor Terhadap Unjuk Kerja Sistem Pirolisis Sampah Plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE)

Jaeng Sasongko<sup>1)</sup>, I Nengah Suarnadwipa<sup>2)</sup>, Made Ricki Murti<sup>3)</sup>  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

Sampah plastik merupakan sampah yang paling banyak dibuang sembarangan yang dapat menyumbat saluran drainase, selokan dan sungai sehingga bisa menyebabkan banjir. Untuk mengurangi dampak negatif dari sampah plastik ini, dapat diolah menjadi minyak yang dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif. Metode pengolahan sampah yang dapat digunakan adalah pirolisis. Pirolisis merupakan proses peruraian suatu bahan pada suhu tinggi tanpa adanya udara atau dengan udara terbatas. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menganalisis pengaruh variasi temperatur kerja reaktor terhadap unjuk kerja sistem pirolisis yang meliputi laju pemakaian energi bahan bakar LPG, kapasitas hasil minyak dan massa padatan arang hasil proses pirolisis sampah plastik Low Density Polyethylene (LDPE). Pengujian pirolisis dengan bahan baku plastik LDPE yang dalam pengujiannya menggunakan reaktor pirolisis dengan temperatur 200°C, 250°C, 300°C, 350°C dan 400°C, kemudian plastik tersebut di masukkan reaktor dan dipanaskan. Nantinya plastik berubah fase menjadi gas, lalu gas didinginkan di dalam kondensor yang nantinya keluar menjadi minyak dan ditampung di gelas ukur. Setelah dilakukan pengujian didapatkan laju pemakaian energi bahan bakar LPG dan volume minyak paling tinggi ada pada temperatur 400°C sebesar 4884,31 Joule/s dan volume minyak sebesar 492 ml. Semakin tinggi temperatur pirolisis, laju pemakaian energi bahan bakar LPG dan volume minyak yang diperoleh akan semakin besar. Sedangkan hasil pengamatan berat padatan diperoleh semakin tinggi temperatur reaktor, maka semakin kecil massa padatan yang dihasilkan. Pada temperatur 400°C menghasilkan padatan paling kecil sebesar 385gr.

Kata kunci: Pirolisis, Plastik LDPE, Bahan Bakar, Kapasitas Minyak, Padatan.

## Abstract

*Plastic waste is the type of waste that is most often thrown away carelessly and can clog drainage channels, ditches and rivers, which can cause flooding. To reduce the negative impact of this plastic waste, it can be processed into oil which can be used as an alternative fuel. The waste processing method that can be used is pyrolysis. Pyrolysis is the process of decomposing a material at high temperatures in the absence of air or with limited air. The aim of this research is to analyze the effect of variations in reactor working temperature on the performance of the pyrolysis system which includes the rate of energy consumption for LPG fuel, oil yield capacity and mass of charcoal solids resulting from the Low Density Polyethylene (LDPE) plastic waste pyrolysis process. Pyrolysis testing with LDPE plastic as raw material, which in the test uses a pyrolysis reactor with temperatures of 200°C, 250°C, 300°C, 350°C dan 400°C, then the plastic is put into the reactor and heated. Later the plastic changes phase to gas, then the gas is cooled in the condenser which then comes out into oil and is collected in a measuring cup. After testing, it was found that the highest rate of energy consumption for LPG fuel and oil volume was at a temperature of 400°C of 4884.31 Joules/s and an oil volume of 492 ml. The higher the pyrolysis temperature, the greater the rate of LPG fuel energy consumption and the volume of oil obtained. Meanwhile, the results of observing the weight of solids were obtained, the higher the reactor temperature, the smaller the mass of solids produced. At a temperature of 400°C it produces the smallest solids of 385g.*

Keywords: Pyrolysis, LDPE Plastic, Fuel, Oil Capacity, Solids.

## 1. Pendahuluan

Sampah plastik merupakan sampah yang paling banyak dibuang manusia karena banyak orang yang menggunakan plastik untuk keperluan sehari-hari [1]. Salah satu contoh produk plastik yang paling sering digunakan yaitu kantong plastik (kresek). Hampir di setiap tempat jual beli menggunakan kantong plastik sebagai pembungkus barang yang dibeli oleh konsumen. Setelah barang yang dibeli tersebut sudah digunakan, tidak banyak orang yang mau mengumpulkan kantong plastik tersebut dan menggunakannya kembali (*reuse*), oleh karena itu kantong plastik yang tidak terpakai lagi tersebut hanya akan menjadi limbah di lingkungan. Plastik merupakan polimer hidrokarbon yang sulit terurai.

Sehingga akan berdampak negatif terhadap lingkungan karena tidak dapat terurai dengan cepat dan dapat menurunkan kesuburan tanah [2].

Sampah plastik yang dibuang sembarangan juga dapat menyumbat saluran drainase, selokan dan sungai sehingga bisa menyebabkan banjir [3]. Berdasarkan data dari daerah yang dihimpun oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) tahun 2022, jumlah timbulan sampah di Indonesia sebesar 68,7 juta ton/tahun dengan komposisi sampah didominasi oleh sampah organik, jenis sampah plastik menduduki peringkat kedua sebesar 5,4 juta ton per tahun atau 14 persen dari total produksi sampah [4]. Mengurangi sampah plastik dengan cara pembakaran juga bisa

dikatakan kurang efektif dan beresiko, sebab dengan pembakaran munculnya polutan dari emisi gas buang ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ , dan  $\text{SO}_x$ ) dan beberapa partikulat pencemar lainnya sehingga diperlukan cara pengolahan lain untuk mengolah sampah plastik [5]. Sampah plastik yang dibakar bisa mengeluarkan zat-zat yang berbahaya yang bersifat racun bagi kesehatan manusia [6].

Sampah plastik yang sangat umum ditemui yaitu kantong plastik atau biasa disebut plastik kresek yang biasa digunakan sebagai pembungkus suatu makanan, minuman, atau barang yang kita beli dari tempat perbelanjaan. Kantong plastik tersebut termasuk ke dalam plastik jenis *Low Density Polyethylene* (LDPE). Plastik jenis LDPE adalah termoplastik yang berasal dari minyak bumi. Untuk mengurangi dampak negatif dari sampah plastik yang sulit terurai, maka sampah plastik jenis LDPE ini dapat diolah menjadi minyak yang dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif karena plastik sendiri asalnya dari minyak bumi sehingga dapat dikembalikan ke bentuk asalnya, plastik juga memiliki nilai kalor yang cukup tinggi, hampir setara dengan solar dan bensin [7].

Salah satu metode pengolahan sampah yang dapat digunakan untuk mengurangi sampah terutama sampah plastik adalah metode pirolisis. Pirolisis merupakan proses peruraian suatu bahan pada suhu tinggi tanpa adanya udara atau dengan udara terbatas [8]. Dalam penelitian ini, temperatur operasi reaktor berkisar antara 200-400 °C dengan bahan baku berupa potongan plastik LDPE. Berbagai variabel yang berpengaruh dalam proses pirolisis antara lain suhu, waktu, dan kadar air bahan. Produk utama dari pirolisis yang dapat dihasilkan adalah padatan (arang), minyak, dan gas. Padatan arang yang terbentuk dapat digunakan untuk bahan bakar ataupun digunakan sebagai karbon aktif. Sedangkan minyak yang dihasilkan dapat digunakan sebagai zat aditif atau campuran dalam bahan bakar. Sedangkan gas yang terbentuk dapat dibakar secara langsung [9].

Dari penelitian Juliya A. Rs, dkk (2021), melakukan penelitian dengan menggunakan dua jenis plastik yaitu jenis LDPE dan plastik campuran dengan massa plastik setiap temperatur yaitu 150 g dan perbandingan suhu 350°C, 400°C, 450°C. Hasil dari penelitian menunjukkan perbandingan suhu terhadap densitas pada plastik LDPE, semakin tinggi suhu maka densitas semakin tinggi sedangkan pada plastik campuran apabila semakin tinggi suhu maka semakin rendah densitasnya. Endapan yang terbentuk dari proses pirolisis akan berkurang jika temperaturnya diatas 350°C sedangkan sisa abu/lapisan film dari plastik campuran ada di semua variasi suhu. Perbandingan temperatur terhadap volume minyak yang dihasilkan adalah suhu berbanding lurus dengan volume minyak yang diperoleh [10]. Penelitian tersebut hanya memvariasikan temperatur reaktor dan massa plastik yang sedikit. Oleh karena itu, penulis ingin melakukan penelitian terhadap pengaruh variasi temperatur reaktor yang lebih bervariasi dari

penelitian sebelumnya yakni 200, 250, 300, 350 dan 400°C, serta massa plastik LDPE diperberat lagi sebesar 1 kg pada setiap temperatur agar nantinya dapat mengetahui seberapa pengaruh temperatur reaktor terhadap performansi yang meliputi laju pemakaian bahan bakar, kapasitas hasil minyak dan massa endapan arang hasil proses pirolisis sampah plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE).

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menganalisis pengaruh variasi temperatur kerja reaktor terhadap unjuk kerja sistem pirolisis yang meliputi laju pemakaian bahan bakar, kapasitas hasil minyak dan massa padatan arang hasil proses pirolisis sampah plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE). Agar tidak menyimpang dari topik yang didiskusikan maka terdapat batasan masalah yakni sebagai berikut:

1. Plastik yang digunakan adalah plastik jenis *Low Density Polyethylene* (LDPE)
2. Api pemanas reaktor dianggap konstan pada saat pirolisis.
3. Suhu lingkungan diasumsikan konstan.
4. Jenis plastik LDPE yang digunakan berupa kantong kresek
5. Massa plastik yang digunakan sebesar 1 Kg.
6. Temperatur reaktor yang digunakan 200, 250, 300, 350 dan 400°C
7. Mesin pirolisis yang digunakan memiliki spesifikasi kondensor tunggal dan jenis aliran pada *heat exchanger* yaitu *counter flow*.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Plastik LDPE

LDPE merupakan plastik yang mudah dibentuk ketika panas, yang terbuat dari minyak bumi, densitasnya adalah sekitar 0,910 - 0,941 gr/cm<sup>3</sup> dan tidak reaktif pada temperatur kamar, kecuali pada oksidator kuat dan beberapa jenis pelarut dapat menyebabkan kerusakan [11]. LDPE dapat bertahan pada temperatur 90°C namun dalam waktu yang tidak terlalu lama.



Gambar 1. Plastik LDPE

### 2.2 Pirolisis

Pirolisis adalah proses dekomposisi suatu bahan pada suhu tinggi yang berlangsung tanpa adanya udara atau dengan udara terbatas. Proses dekomposisi pada pirolisis ini juga sering disebut dengan devolatilisasi. Pirolisis atau bisa di sebut thermolisis adalah proses dekomposisi kimia dengan menggunakan pemanasan tanpa kehadiran oksigen [12].



Gambar 2. Proses Pirolisis

### 2.3 Laju Pemakaian Energi Bahan Bakar LPG

Laju pemakaian energi bahan bakar adalah besarnya jumlah massa bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghabiskan plastik di reaktor tiap satuan waktu. Besar kecilnya laju pemakaian energi bahan bakar tergantung pada massa plastik dan waktu proses pirolisis. Rumus untuk mencari laju pemakaian energi bahan bakar untuk LPG adalah sebagai berikut :

$$\dot{E}_{bb\text{ LPG}} = \frac{\dot{m}_{bb\text{ lpg}}}{t} \times NKB\text{ LPG} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :  $\dot{E}$  = Laju Pemakaian Energi Bahan Bakar LPG ( Joule/s )

$\dot{m}$  = Massa Bahan Bakar LPG yang dipakai ( Kg )

t = Waktu proses pirolisis ( s )

NKB = Nilai Kalor Bawah LPG (47000 KJ/Kg)

## 3. Metode Penelitian

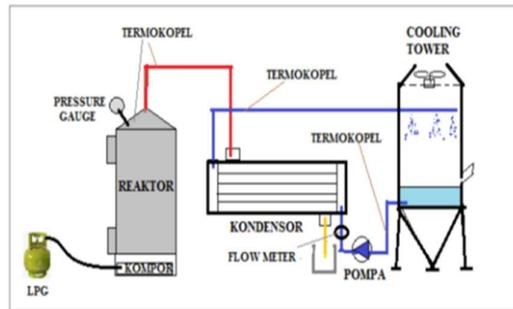
### 3.1 Alat dan Bahan Penelitian

Material pirolisis adalah jenis limbah plastik LDPE (*Low Density Polyethylene*) yaitu sampah kantong kresek dengan massa material 1 kg.

Alat yang dibutuhkan pada penelitian ini antara lain:

- Tabung LPG 3kg
- Regulator
- Kompor
- Reaktor Pirolisis
- Termokopel
- Kondenser
- Gelas ukur
- Flowmeter
- Pompa
- Cooling Tower
- Kondenser
- Pressure Gauge
- Timbangan

- Gunting
- Stopwatch



(a) Skematik Rancangan Penelitian Kapasitas pendinginan pada Pengembangan Sistem Pirolisis Limbah Plastik



(b) Alat Pirolisis

Gambar 3. Skema Dan Instalasi Alat Pirolisis

### 3.2 Prosedur Penelitian

1. Siapkan sampah plastik kantong kresek, bersihkan dari kotoran dan dikeringkan, kemudian dipotong-potong kecil dengan ukuran rata-rata 1 cm<sup>2</sup>.
2. Timbang massa limbah plastik LDPE yang sudah dipotong-potong tadi kondisi kering dan bersih sejumlah 1 kg.
3. Persiapan alat pirolisis. Pastikan semua rangkaian alat pirolisis telah terpasang dengan baik.
4. Masukkan limbah plastik LDPE ke dalam reaktor pirolisis sebanyak 1 kg.
5. Kemudian hidupkan pemanas reaktor dan lakukan penyetingan temperatur 200°C pada *Thermocouple*.
6. Sirkulasikan air pendingin ke kondenser dengan menyalakan pompa dan *fan cooling tower*. Laju aliran air pendingin diatur dengan mengatur katup sehingga *flow meter* menunjukkan 0,10 liter/detik. Maka itu dihitung sebagai waktu awal.
7. Lakukan pencatatan data yang dibutuhkan meliputi pemakaian bahan bakar dan kapasitas minyak hasil pirolisis.
8. Hentikan pengoperasian alat pirolisis dengan mematikan pompa dan kompor jika sudah tidak ada minyak yang keluar.

9. Ambil massa padatan endapan di reaktor sisa proses pirolisis kemudian timbang massanya.
10. Ulangi langkah 4 sampai 10 untuk mengambil data temperatur selanjutnya yakni 250°C, 300°C, 350°C dan 400°C.
11. Jika selesai mencatat data hasil pirolisis pada setiap temperatur, analisis hasil datanya dan penelitian selesai.

#### 4. Hasil dan Pembahasan

##### 4.1. Analisis Laju Pemakaian Energi Bahan Bakar Proses Pirolisis

Laju pemakaian bahan bakar didapatkan dari perhitungan massa bahan bakar LPG yang dipakai dibagi dengan waktu pirolisis kemudian dikali dengan nilai kalor bawah LPG. Nilai kalor bawah (LHV) untuk LPG adalah 47.000 kJ/kg lebih rendah dari LHV pertalite 47.300 kJ/kg [13].

Perhitungan laju pemakaian energi bahan bakar LPG pada temperatur 200°C

$$\begin{aligned} \dot{E}_{bb\text{ LPG}} &= \frac{\dot{m}_{bb\text{ lpg}}}{t} \times NKB\text{ LPG} \\ &= \frac{1,545\text{ Kg}}{27600s} \times 47.000.000\text{ Joule/Kg} \\ &= 2630,98\text{ Joule/s} \end{aligned}$$

Perhitungan laju energi bahan bakar LPG pada temperatur 250°C

$$\begin{aligned} \dot{E}_{bb\text{ LPG}} &= \frac{\dot{m}_{bb\text{ lpg}}}{t} \times NKB\text{ LPG} \\ &= \frac{1,895\text{ Kg}}{25800s} \times 47.000.000\text{ Joule/Kg} \\ &= 3452,13\text{ Joule/s} \end{aligned}$$

Perhitungan laju energi bahan bakar LPG pada temperatur 300°C

$$\begin{aligned} \dot{E}_{bb\text{ LPG}} &= \frac{\dot{m}_{bb\text{ lpg}}}{t} \times NKB\text{ LPG} \\ &= \frac{2,055\text{ Kg}}{24600s} \times 47.000.000\frac{\text{Joule}}{\text{Kg}} \\ &= 3926,22\text{ Joule/s} \end{aligned}$$

Perhitungan laju energi bahan bakar LPG pada temperatur 350°C

$$\begin{aligned} \dot{E}_{bb\text{ LPG}} &= \frac{\dot{m}_{bb\text{ lpg}}}{t} \times NKB\text{ LPG} \\ &= \frac{2,095\text{ Kg}}{22200s} \times 47.000.000\text{ Joule/Kg} \\ &= 4435,36\text{ Joule/s} \end{aligned}$$

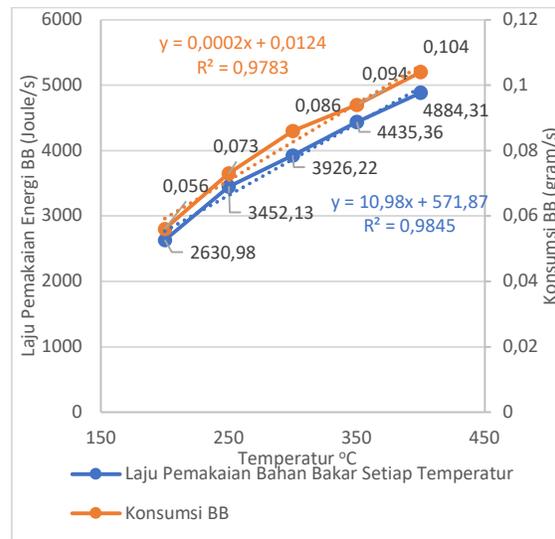
Perhitungan laju energi bahan bakar LPG pada temperatur 400°C

$$\begin{aligned} \dot{E}_{bb\text{ LPG}} &= \frac{\dot{m}_{bb\text{ lpg}}}{t} \times NKB\text{ LPG} \\ &= \frac{2,120\text{ Kg}}{20400s} \times 47.000.000\text{ Joule/Kg} \\ &= 4884,31\text{ Joule/s} \end{aligned}$$

Tabel 4. 1 waktu, massa total gas, konsumsi dan laju pemakaian energi proses pirolisis

Temp eratur (°C)	Waktu Pirolisis (menit)	Massa total gas LPG yang digunakan (Kg)	Konsumsi Bahan Bakar (gram/s)	Laju Pemakaian Energi Bahan Bakar (Joule/s)
200	460	1,545	0,056	2630,98
250	430	1,895	0,073	3452,13
300	410	2,055	0,086	3926,22
350	370	2,095	0,094	4435,36
400	340	2,120	0,104	4884,31

Meningkatnya laju pemakaian dan konsumsi bahan bakar bergantung pada temperatur dan waktu pirolisis, jika temperatur tinggi dan waktu pirolisis lama maka massa gas LPG yang diperlukan untuk menghabiskan plastik dalam reaktor juga semakin banyak. Untuk perolehan laju pemakaian energi bahan bakar masing-masing temperatur dapat dilihat pada gambar grafik 4. Untuk laju pemakaian energi paling besar ada pada temperatur 400°C sebesar 4884,31 Joule/s dan paling kecil pada temperatur 200°C sebesar 2630,98 Joule/s.



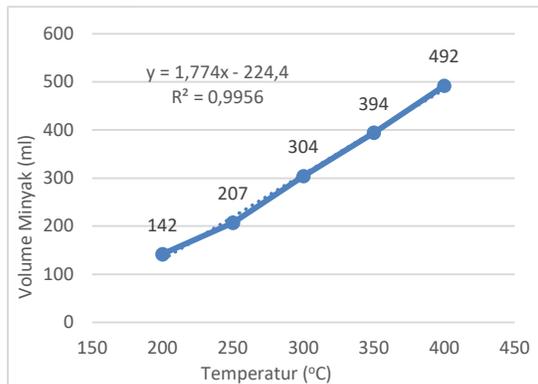
Gambar 4. Grafik Laju Pemakaian Energi Bahan Bakar pada setiap Temperatur

##### 4.2 Kapasitas Hasil Minyak Proses Pirolisis



Gambar 5. Minyak Hasil Proses Pirolisis Plastik LDPE.

Pengaruh temperatur terhadap minyak hasil pirolisis disajikan pada gambar grafik 6. Dari grafik, dapat dilihat bahwa perolehan minyak tertinggi dari diperoleh pada temperatur 400°C sebesar 492 ml. Hasil minyak diukur di gelas ukur dengan memvariasikan temperatur yang menunjukkan semakin tinggi temperatur reaktor, maka minyak yang diperoleh semakin banyak. Hal ini disebabkan oleh ikatan struktur kimianya. Semakin tinggi temperatur reaktor maka pemecahan rantai hidrokarbon plastik lebih cepat, itu mengakibatkan ikatan hidrokarbonnya akan lebih pendek dan perubahan fase untuk menjadi gas lebih cepat sehingga nanti minyak yang dihasilkan akan meningkat.



Gambar 6. Grafik Kapasitas Hasil Minyak Pirolisis Tiap Temperatur

#### 4.3 Massa Padatan Hasil Proses Pirolisis

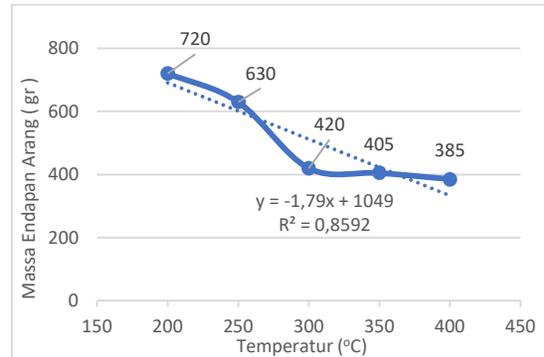
Selain minyak, hasil dari proses pirolisis lainnya adalah endapan padat. Padatan disini merupakan hasil akhir proses pirolisis yang berupa padatan yang tertinggal di dalam reaktor, seperti pada Gambar 8. Endapan padat terbentuk dari penguraian atau dekomposisi plastik proses pirolisis yang masih berada di dalam reaktor. Padatan hasil pirolisis plastik LDPE berwarna hitam, padat dan berbau menyengat.



Gambar 7. Endapan Padat di dalam Reaktor

Hasil pengamatan berat padatan disajikan pada gambar grafik 8, didapat pada temperatur paling rendah yaitu 200°C menghasilkan padatan yang paling banyak yaitu sebesar 720gr. Sedangkan pada temperatur paling tinggi 400°C menghasilkan padatan paling sedikit 385gr. Dari hasil penimbangan berat padatan setiap akhir proses pirolisis pada berbagai temperatur reaktor, terlihat bahwa semakin tinggi temperatur, jumlah padatan yang tertinggal di reaktor

semakin kecil. Hal ini dikarenakan dengan meningkatnya temperatur reaktor maka proses penguraian ikatan kimia bahan plastik di dalam reaktor lebih cepat sehingga padatan yang belum terdekomposisi di dalam reaktor semakin sedikit.



Gambar 8. Grafik Padatan Pirolisis Tiap Temperatur

## 5. Penutup

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan, disimpulkan bahwa laju pemakaian energi bahan bakar yang didapatkan bergantung pada temperatur pirolisis. Semakin tinggi temperatur pirolisis, laju pemakaian energi bahan bakar nilainya semakin besar. Untuk laju konsumsi bahan bakar tertinggi ada pada temperatur 400°C sebesar 4884,31 Joule/s. Semakin tinggi temperatur pirolisis, volume minyak yang diperoleh akan semakin banyak. Hasil minyak terbanyak ada pada temperatur reaktor 400°C sebesar 492 ml. Sedangkan hasil pengamatan berat padatan yang tertinggal di reaktor diperoleh bahwa semakin tinggi temperatur reaktor pirolisis, maka semakin kecil massa padatan yang dihasilkan. Pada temperatur 400°C menghasilkan padatan sebesar 385gr, sedangkan pada temperatur 200°C menghasilkan padatan paling banyak yaitu sebesar 720gr.

### 5.2 Saran

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai minyak hasil pirolisis plastik LDPE pada temperatur lebih dari 400°C.
2. Pada penelitian lanjutan terkait pirolisis plastik LDPE ada baiknya mengestimasi waktu maksimal proses pirolisis dimulai dari ketika temperatur pada reaktor mencapai titik temperatur yang ditentukan, sehingga tidak menunggu hingga tetes minyak terakhir.

## Daftar Pustaka

- [1] Nadlifatin, R, 2018, *Pengolahan Limbah Plastik Menjadi Produk Kerajinan Tangan Untuk Meningkatkan Ekonomi Masyarakat Sendang Dajah*, Jurnal Abdikarya : Jurnal Karya Pengabdian Dosen dan Mahasiswa Vol 01 No 1.

- [2] Surono, U.B., 2013, *Berbagai metode konversi sampah plastik menjadi bahan bakar minyak*. Jurnal Teknik, 3, 32–40.
- [3] Untoro Budi, Sarono, 2013, *Berbagai Metode Konversi sampah Plastik menjadi bahan bakar Minyak*, Jurnal teknik. ISSN 20088-3676 Vol 3 No 1
- [4] Menlhk.go.id, 2023, *KLHK Ajak Masyarakat Kelola Sampah Organik Jadi Kompos*, [https://www.menlhk.go.id/site/single\\_post/5308#:~:text=Berdasarkan%20data%20dari%20daerah%20yang,tersebut%20bersumber%20dari%20rumah%20tangga](https://www.menlhk.go.id/site/single_post/5308#:~:text=Berdasarkan%20data%20dari%20daerah%20yang,tersebut%20bersumber%20dari%20rumah%20tangga), diakses 15 Maret 2023
- [5] Nindita, V., 2015, *Studi Berbagai Metode Pembuatan BBM Dari Sampah Plastik Jenis LDPE Dan PVC Dengan Metode Thermal & Catalytic Cracking (Ni-Cr/Zeorlit)*, TEKNIS, Volume 10, Nomor 3, 137 – 144.
- [6] Parinduri S. K., Ilmi D. A., 2019, *Penyubliman Sampah Non-Organik Di Desa Cicadas*, Vol 3 No 3.
- [7] Prasetyo, H. (2015). *Mesin Pengolah Limbah Menjadi Bahan Bakar Alternatif*. Semarang: Universitas Negeri Semarang
- [8] Agra.I.B., 1985, *Pirolisis Sekam Padi secara Sinambung*, Karya Penelitian, 1, Lembaga Penelitian Universitas Gadjah Mada, 135-145.
- [9] Sukseswati, Dini D., 2010, *Karakteristik Sifat Fisik dan Kimia Minyak Hasil Pirolisis Lambat Campuran Sampah Kertas dan Daun*, Jurnal Penelitian Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, UNS.
- [10] Juliya Ascha Riandis, Agus Restu Setyawati, Ari Susandy Sanjaya, 2021, *Pengolahan Sampah Plastik Dengan Metode Pirolisis Menjadi Bahan Bakar Minyak*, Jurnal Chemurgy, Vol. 05, No.1, 8-14
- [11] Wantoro, W., Kusumaningrum, D., Setiadji, B.H., dan Kushardjoko, W. 2013. *Pengaruh Penambahan Plastik Bekas Tipe Low Density Polyethylene (LDPE) terhadap Kinerja Campuran Beraspal*. Jurnal Karya Teknik Sipil, 2 (4): 366–381.
- [12] Santoso Djoko Fadjar. *Apa Itu Pirolisis? Bisa Ubah Sampah Plastik Jadi BBM*, [www.pertamina.com:https://www.pertamina.com/id/newsroom/energianews/apa-itu-pirolisisbisa-ubah-sampah-plastik-jadi-bbm](http://www.pertamina.com/id/newsroom/energianews/apa-itu-pirolisisbisa-ubah-sampah-plastik-jadi-bbm). diakses 30 Maret 2023.
- [13] Sarsetiyanto, J., Denny ME Soedjono, Heru Mirmanto, Dedy Z Noor, 2018 *Studi Perbandingan Daya Mesin Motor Bakar Torak 4 Langkah Tipe KD250AT Menggunakan Bahan Bakar Bensin dan Setelah Dimodifikasi Menjadi Berbahan Bakar Gas (LPG)*, Jurnal Teknik Mesin Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) ISSN 2085-4218.



# OPTIMASI TOPOLOGI PADA CHASSIS KENDARAAN BIO-HYBRID (OBHI-MEC UNUD) DENGAN MENGGUNAKAN ANSYS WORKBENCH

William Halim Darmawan<sup>1)</sup>, I Made Gatot Karohika<sup>2)</sup>, I Made Widiyarta<sup>3)</sup>  
*Program Studi Teknik mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali*

## Abstrak

Chassis atau rangka utama adalah struktur dasar kendaraan yang merupakan tempat bagi komponen-komponen lain dipasang. Pada penelitian ini chassis kendaraan Obhi-mec akan dioptimasi topologi dengan menggunakan variasi massa. Terdapat 3 variasi massa yang digunakan yaitu, 20%, 25% dan 29%. Simulasi pada chassis Obhi-mec sebelum dioptimasi dengan massa 155,37 Kg mendapatkan hasil von mises stress 22,988 Mpa dan safety factor 8,7004. Simulasi dengan hasil terbaik pada variasi pengurangan 29% dengan massa 110,68 Kg mendapatkan hasil total deformasi 0,18574, von mises stress 44,966 Mpa, strain 0,00021218 dan safety factor 4,4478.

Kata kunci: Optimasi Topologi, *Ansys Workbench*, Chassis, Obhi-mec.

## Abstract

*The chassis or main frame is the basic structure of the vehicle to which other components are attached. In this study, the Obhi-mec vehicle chassis will be topology optimized using mass variations. There are 3 mass variations used, namely, 20%, 25% and 29%. Simulations on the Obhi-mec chassis before optimization with a mass of 155.37 Kg get the results of von mises stress 22.988 Mpa and safety factor 8.7004. Simulations with the best results in the 29% reduction variation with a mass of 110.68 Kg get the results of total deformation 0.18574, von mises stress 44.966 Mpa, strain 0.00021218 and safety factor 4.4478.*

*Keywords: Topology Optimization, Ansys Workbench, Chassis, Obhi-mec.*

## 1. Pendahuluan

<sup>[1]</sup> Seiring perkembangan zaman dan peningkatan mobilitas dalam berkegiatan, manusia membutuhkan transportasi. Kendaraan bermotor semakin bervariasi dan berkembang setiap tahun. <sup>[2]</sup> Berdasarkan data yang diperoleh Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2022 jumlah kendaraan bermotor mencapai 148.212.865 unit di Indonesia dan pada tahun 2021 hanya terdapat 141.996.832 unit. Jumlah kendaraan bermotor yang meningkat setiap tahun akan berdampak pada banyak industri, salah satunya polusi udara. <sup>[3]</sup> Kendaraan bermotor yang menggunakan bahan bakar fosil semakin populer. Energi yang tidak terbarukan adalah sumber minyak bumi yang saat ini digunakan sebagai bahan bakar mobil. Mobil listrik adalah jenis transportasi yang ramah lingkungan dan mampu memenuhi kebutuhan mobilitas masyarakat.

<sup>[4]</sup> Electric vehicle (EV) memiliki banyak keuntungan dibandingkan dengan ICE/ICEV (Internal Combustion Engine Vehicle), termasuk suara yang lebih rendah, efisiensi konversi energi yang tinggi, dan penggunaan bahan bakar yang lebih sedikit. Sehingga secara langsung mengurangi gas buang ke atmosfer, serta emisi gas yang bersifat terpusat sehingga lebih bisa dikelola. Kendaraan listrik adalah salah satu solusi penting untuk masalah seperti polusi, keterbatasan, dan semakin berkurangnya stok bahan bakar konvensional, dan pemanasan global yang disebabkan oleh penggunaan bahan bakar berbasis fosil dalam transportasi. Untuk itu, perlu ada upaya yang dilakukan untuk mendorong pengembangan EV.

Kendaraan Bio-Hybrid (Obhi-Mec Unud) adalah kendaraan bio-hybrid yang merupakan sebuah inovasi dari Universitas Udayana dalam turut mengembangkan kendaraan listrik yang ramah lingkungan. Bio-Hybrid (Obhi-Mec Unud) merupakan gabungan dari kendaraan elektrik dan sepeda. Kendaraan ini menggabungkan kendaraan yang digerakkan baterai dan kendaraan yang digerakkan oleh manusia. Dalam proses perancangan kendaraan ini perlu banyak optimasi dalam berbagai aspek agar dapat mengurangi biaya produksi tetapi tetap aman. Optimasi topologi adalah salah satu cara untuk mengoptimalkan saat proses produksi.

<sup>[5]</sup> Optimasi topologi bertujuan mengurangi volume dari design variable yang telah ditentukan dengan cara memaksimalkan nilai kekakuan dari struktur yang diizinkan. <sup>[6]</sup> Optimasi topologi mengutamakan kekakuan dalam mengoptimalkan model geometri untuk bobot dan massa berdasarkan berbagai batasan dan kriteria desain yang disertakan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengurangi massa chassis kendaraan Bio-Hybrid (Obhi-Mec Unud) dengan memperhatikan nilai safety factor. Pengurangan massa dapat didapatkan dengan menghilangkan beberapa bagian dari chassis Bio-Hybrid (Obhi-Mec Unud), atau mengubah dimensi dari profil pipa chassis menjadi lebih kecil. Semakin kecil massa chassisnya, maka penggunaan energi baterai ataupun kayuhan dalam menjalankan kendaraan Bio-Hybrid (Obhi-Mec Unud) akan

semakin kecil juga. Pada proses Optimasi topologi pada kendaraan Bio-Hybrid (Obhi-Mec Unud) juga bertujuan untuk mengurangi biaya produksi yang dikarenakan pengurangan bahan pembuatan chassis. Chassis kendaraan Bio-Hybrid (Obhi-Mec Unud) menggunakan rangka berjenis tubular frame dan menggunakan black steel pipe sebagai materialnya.

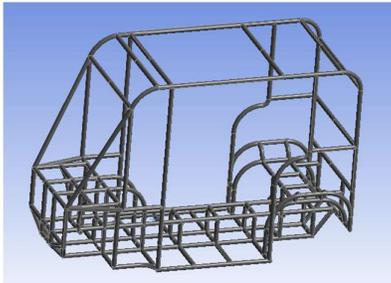
Pada penelitian ini, penulis akan melakukan analisa dengan cara melakukan perbandingan variabel terikat berupa safety factor dan von mises stress pada chassis sebelum dan sesudah dilakukan pengurangan massa. Penelitian ini akan dilakukan menggunakan software Ansys Workbench dengan Static Structural dan Optimasi Topology.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Chassis

<sup>[7]</sup> Chassis merupakan komponen terpenting kendaraan, berfungsi sebagai tempat komponen lain dipasang. <sup>[8]</sup> Chassis bertanggung jawab untuk menjaga kekokohan dan ketahanan kendaraan agar tidak rusak selama penggunaan. Chassis harus kuat untuk menahan kejutan, putaran, getaran, dan tekanan lainnya.

Gambar 1. Chassis Kendaraan Bio-Hybrid Obhi-Mec UNUD



## 2.2 Optimasi Topologi

<sup>[9]</sup> Metode untuk mengoptimalkan pembagian material dari komponen yang akan didesain dikenal sebagai optimalisasi topologi. Ada beberapa kelebihan dalam optimasi topologi, yaitu:

1. Mendapatkan struktur komponen dengan beban yang ringan.
2. Mendapatkan desain yang siap untuk diproduksi.
3. Mengurangi waktu untuk proses produksi.
4. Menghemat material dengan jumlah yang besar.
5. Mengurangi tes fisik.
6. Menghemat banyak tenaga dalam proses produksi.
7. Mengurangi pembuatan prototype.

### 2.2.1. Aspek yang Mempengaruhi Optimasi Topologi

#### 2.2.1.1 Faktor Keamanan

<sup>[10]</sup> Faktor keamanan adalah parameter yang mengukur kapasitas suatu bahan teknik untuk menahan beban dari luar, seperti beban tarik dan tekan. Faktor keamanan adalah perbandingan

tegangan ijin dan tegangan maksimal. <sup>[11]</sup> Terdapat beberapa aturan dalam penentuan faktor keamanan pada material ductile yaitu:

1.  $N = 1,25-2,0$ . Struktur desain dengan pembebanan statis dengan keyakinan pada data yang tinggi.
2.  $N = 2,00-2,5$ . Desain elemen mesin dengan pembebanan dinamis dengan keyakinan yang menengah pada data yang dimiliki.
3.  $N = 2,50-4,0$ . Desain struktur statis atau elemen mesin dengan beban dinamis yang memiliki ketidakpastian pembebanan, properti material, analisa tegangan ataupun lingkungan.
4.  $N = 4,0$  ke atas. Desain struktur statis atau elemen mesin dengan pembebanan dinamis dengan ketidakpastian kombinasi dari beberapa faktor seperti pembebanan, properti material, analisa tegangan ataupun lingkungan.

### 2.2.1.2 Tegangan

<sup>[12]</sup> Tegangan adalah nilai gaya yang bekerja pada suatu satuan luas. Memiliki persamaan :

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Dengan :

$\sigma$  = Tegangan (N/m<sup>2</sup>)

F = Gaya (N)

A = Luas Penampang (m<sup>2</sup>)

### 2.2.1.3 Von Mises Stress

<sup>[13]</sup> Tegangan von Mises adalah tegangan tarik uniaksial yang memiliki kapasitas untuk menghasilkan jumlah energi distorsi yang setara dengan kombinasi tegangan yang bekerja.

## 2.3 Metode Elemen Hingga

<sup>[14]</sup> Metode elemen merupakan sebuah metode numerik untuk menyelesaikan masalah mekanika kuantum dengan ketelitian yang bisa diterima oleh rekayasawan. Metode elemen hingga sangat berguna untuk menyelesaikan objek dengan bentuk, beban, dan kondisi batas yang tidak beraturan. Metode ini memiliki keunggulan karena ada kemiripan antara jaring elemen dan struktur sebenarnya. Metode ini memerlukan komputer dan program yang dapat diandalkan.

## 2.4 Kendaraan Listrik Bio-Hybrid Obhi-Mec UNUD

Obhi-mec adalah kendaraan hybrid yang dibuat dengan memanfaatkan daya motor listrik dan daya kayuhan kaki manusia. Penggerak utama pada kendaraan ini adalah motor listrik, dan terdapat pedal sebagai alat penggerak pembantu. Kecepatan yang dapat dicapai oleh kendaraan ini pada jalan raya sebesar 30 km/jam hingga kecepatan maksimal 50 km/jam, dengan kapasitas 2 sampai 3 orang. Obhi-mec menggunakan dinamo dengan daya 2000

Watt untuk mengubah energi mekanik hasil kayuhan pedal menjadi energi listrik yang akan disimpan di baterai.



Gambar 3. Model Kendaraan Listrik Obhi-Mec Unud

Tabel 1 Spesifikasi Kendaraan Listrik Obhi-Mec Unud

Parameter	Value	Unit
Vehicle mass with driver and 2 passenger	375	kg
Vehicle mass with driver and without passenger	225	kg

### 2.5 Profil Pipa Besi Hitam

Pipa besi hitam yang dipergunakan adalah pipa berbahan Carbon Steel AISI 1020 yang dianneling pada suhu 870° C. Diameter rangka awal 1” (32mm) dan ketebalan 0,0133” (3,38mm.) Sifat mekanik Carbon Steel AISI 1020.

Tabel 2. Tabel Sifat Mekanik Carbon Steel AISI 1020

Properties		Condition
		T (°C)
Densitiy (x1000kg/m <sup>3</sup> )	7.7-8.03	25
Poisson's Ratio	0.27-0.30	25
Elastic Modulus (GPa)	190-210	25
Tensile Strenth (MPa)	394.7	25
Yield Strength (MPa)	294.8	25
Elongation (%)	36.5	25
Reduction in Area (%)	66.0	25
Hardness (HB)	111	25
Impact Strength (J)	123.4	25

### 2.6 Motor Listrik

Pada kendaraan *Obhi-Mec* menggunakan penggerak motor Listrik brand YALU dengan model BM1412ZXF sebagai penggerak utamanya

Tabel 3. Spesifikasi Motor Listrik YALU

Desain	Brushless
Other Name	Brushless E-Tricycle DC Motor

Weight	4.5 Kg
Voltage	48/60/72 V DC
Unload Speed	3200 RPM

## 3. Metode Penelitian

### 3.1 Perhitungan Pembebanan

Pada penelitian ini menggunakan pembebanan berupa massa pengendara dan 2 penumpang serta massa dari baterai. Diasumsikan bahwa berat dari pengemudi dan penumpang sebesar 75 Kg per orang dan sedangkan untuk berat baterai sebesar 5 Kg. Sedangkan untuk berat bersih *chassis* kendaraan *Bio-Hybrid Obhi-mec* adalah sebesar 155.37 Kg

a. Pembebanan per orang

$$W_{orang} = m \times g$$

$$W_{orang} = 75 \times 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$W_{orang} = 735,75 N$$

b. Pembebanan baterai

$$W_{baterai} = m \times g$$

$$W_{baterai} = 5 \times 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$W_{baterai} = 49,05 N$$

c. Pembebanan motor Listrik

$$W_{motor} = m \times g$$

$$W_{motor} = 4,5 \times 9,81$$

$$W_{motor} = 44,145 N$$

d. Total Pembebanan

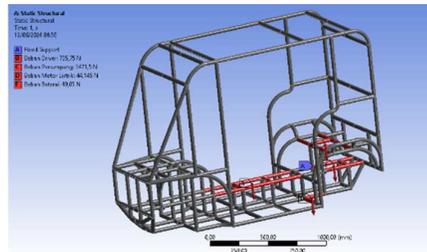
$$W_{total} = 3 \cdot W_{orang} + W_{baterai} + W_{motor}$$

$$W_{total} = (3 \times 735,75) + 49,05 + 44,145$$

$$W_{total} = 2256,30 N$$

### 3.2 Skema Pembebanan dan Penyanggah

Skema peletakan pembebanan dan penyanggah pada *Ansys Workbench*.



Gambar 4. Skema Pembebanan dan Penyanggah

### 3.3 Prosedur Penelitian

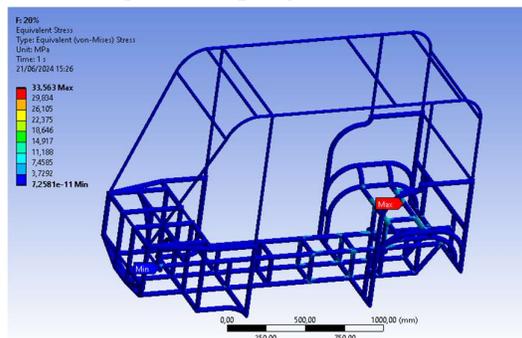
Langkah melakukan optimasi topologi pada *Ansys Workbench* :

1. Membuka aplikasi *Ansys Workbench* .
2. Memilih “*Static Structural*”.
3. Memasukan data material yang digunakan pada menu “*Engineering Data*”.
4. Memasukan desain struktur yang akan disimulasikan.
5. Melakukan *meshing* pada struktur tersebut.
6. Menentukan dan meletakkan titik penyanggah pada struktur.

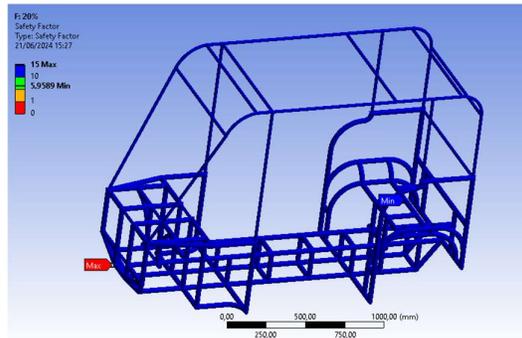
- Menentukan letak pembebanan dan memasukan besar pembebanan.
- Melakukan pengujian *static structural* pada desain awal.
- Melakukan optimasi topologi berdasarkan hasil pengujian pertama.
- Memodifikasi desain awal sesuai dengan variasi massa yang akan dipergunakan.
- Melakukan pengujian *static structural* pada desain yang sudah dimodifikasi.
- Menganalisa hasil pengujian dengan memperhatikan data hasil yang dihasilkan, seperti tegangan *von mises stress*, dan faktor keamanan

#### 4. Hasil Dan Pembahasan

##### 4.1 Hasil Optimasi Topologi

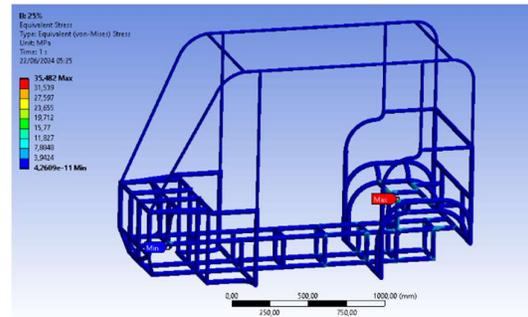


**Gambar 5. Hasil Von-mises Stress pada chassis variasi 20%**  
Menunjukkan hasil von-mises stress yang dialami oleh disain dengan menggunakan warna. Warna merah pada gambar merupakan titik yang mengalami von-mises stress tertinggi sedangkan untuk yang berwarna biru adalah bagian yang mengalami tegangan von-mises stress terendah. Pada desain ini mendapatkan nilai tegangan von-mises stress maksimal sebesar 33,563 Mpa ditunjukkan pada bagian “max” yang berwarna merah.

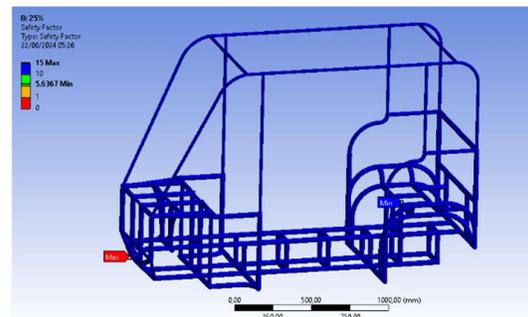


**Gambar 6. Hasil Safety Factor pada chassis variasi 20%**  
Menunjukkan hasil safety factor yang dialami oleh disain dengan menggunakan warna. Warna biru pada gambar merupakan titik yang mengalami safety factor tertinggi sedangkan untuk yang berwarna hijau adalah bagian yang mendapatkan safety factor terendah. Pada desain ini mendapatkan nilai safety

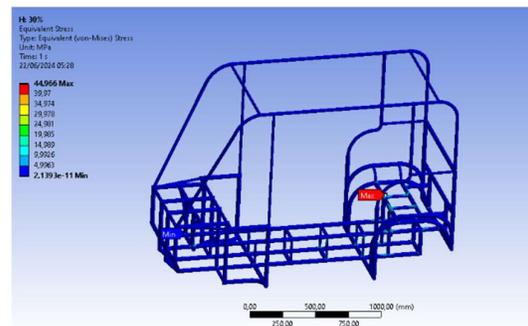
factor minimal sebesar 5,9589 ditunjukkan pada bagian “min” yang berwarna hijau.



**Gambar 7. Hasil Von-mises Stress pada chassis variasi 25%**  
Menunjukkan hasil von-mises stress yang dialami oleh disain dengan menggunakan warna. Warna merah pada gambar merupakan titik yang mengalami von-mises stress tertinggi sedangkan untuk yang berwarna biru adalah bagian yang mengalami tegangan von-mises stress terendah. Pada desain ini mendapatkan nilai tegangan von-mises stress maksimal sebesar 35,482 Mpa ditunjukkan pada bagian “max” yang berwarna merah.

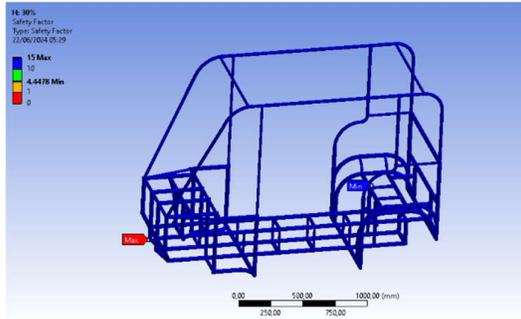


**Gambar 8. Hasil Safety Factor pada chassis variasi 25%**  
Menunjukkan hasil *safety factor* yang dialami oleh disain dengan menggunakan warna. Warna biru pada gambar merupakan titik yang mengalami *safety factor* tertinggi sedangkan untuk yang berwarna hijau adalah bagian yang mendapatkan *safety factor* terendah. Pada desain ini mendapatkan nilai *safety factor* minimal sebesar 5,6367 ditunjukkan pada bagian “min” yang berwarna hijau.



**Gambar 9. Hasil Von-mises Stress pada chassis variasi 29%**

Menunjukkan hasil von-mises stress yang dialami oleh disain dengan menggunakan warna. Warna merah pada gambar merupakan titik yang mengalami von-mises stress tertinggi sedangkan untuk yang berwarna biru adalah bagian yang mengalami tegangan von-mises stress terendah. Pada desain ini mendapatkan nilai tegangan von-mises stress maksimal sebesar 44,966 Mpa ditunjukkan pada bagian “max” yang berwarna merah.



Gambar 10. Hasil Safety Factor pada chassis variasi 29%

Menunjukkan hasil safety factor yang dialami oleh disain dengan menggunakan warna. Warna biru pada gambar merupakan titik yang mengalami safety factor tertinggi sedangkan untuk yang berwarna hijau adalah bagian yang mendapatkan safety factor terendah. Pada desain ini mendapatkan nilai safety factor minimal sebesar 4,4478 ditunjukkan pada bagian “min” yang berwarna hijau.

## 5. Simpulan

Berdasarkan penelitian hasil pengujian optimasi topologi pada chassis kendaraan Bio-hybrid (Obhi-mec Unud) dengan memvariasikan pengurangan massa maka didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada hasil simulasi chassis kendaraan Bio-hybrid (Obhi-mec Unud) dengan pengurangan massa sebesar 29% adalah yang terbaik dengan mendapatkan nilai tegangan von-mises tertinggi sebesar 44,966 MPa dan nilai faktor keamanan terendah sebesar 4,4478. Sedangkan nilai tegangan von-mises terendah dan nilai faktor keamanan tertinggi didapat pada variasi 20% dengan nilai 33,563 MPa dan 5,9589.

## Daftar Pustaka

- [1] Oktaviastuti, B., Handika, D., & Wijaya, S. (2017). Urgensi pengendalian kendaraan bermotor Di Indonesia. *Jurnal Rekayasa Tenik Sipil Universitas Madura*, 2(1).
- [2] Pangestu, F., Widodo, A. W., & Rahayudi, B. (2018). Prediksi Jumlah Kendaraan Bermotor di Indonesia Menggunakan Metode Average-Based Fuzzy Time Series Models (Vol. 2, Issue 9).
- [3] Aziz, M., Marcellino, Y., Rizki, I., Ikhwanuddin, S., & Simatupang, J. (2020). Studi Analisis Perkembangan Teknologi dan Dukungan Pemerintah Indonesia Terkait Mobil Listrik. *TESLA*, 22(1), 45–55.
- [4] Kumara, N. S. (2008). Tinjauan Perkembangan Kendaraan Listrik Dunia Hingga Sekarang. *Jurnal Teknik Elektro*, 10(2), 89–96.
- [5] Suryo, S., & Yuniarto, B. (2020). Optimasi Desain Topologi Struktur Arm Excavator Cat 374d L Menggunakan Metode Elemen Hingga. *ROTASI*, 22(2), 79–86.
- [6] Utama, D. W. (2017). Optimasi topologi pada komponen penampun mesin printer 3dimensi dengan metode generative desain. *Dinamika Teknik Mesin*, 7(2), 2502–1729.
- [7] Isworo, H., Ghofur, A., Cahyono, G. R., & Riadi, J. (2019). ANALISIS DISSPLACEMENT PADA CHASSIS MOBIL LISTRIK WASAKA. *ELEMEN : JURNAL TEKNIK MESIN*, 6(2), 94..
- [8] Satrijo, D., Kurdi, O., Haryanto, I., Prahasto, T., Widodo, A., Eros Sawungrana dan Yogie Adi Wijaya, A., Sudarto, J., Tengah, J., & Raya Ungaran, J. K. (2020). Analisa Statik dan Optimasi Size Chassis Bus Medium dengan Metode Elemen Hingga (Vol. 22, Issue 4).
- [9] Gebisa, A. W., & Lemu, H. G. (2017). A case study on topology optimized design for additive manufacturing. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 276(1)..
- [10] Mulyatno, P., Trimulyono, A., & Khristyson, S. F. (2014). Analisa Kekuatan Konstruksi Internal Ramp Sistem Steel Wire Rope pada Km. Dharma Kencana Viii Dengan Metode Elemen Hingga (Vol. 11, Issue 2).
- [11] Mott, Robert L., Vavrek, Edward M., Wang, Jyhwen, (2018), “Machine Elements in Mechanical Design”, Edisi ke-6, United States, Pearson.
- [12] Abidin, Z., & Rama, B. R. (2015). Analisa Distribusi Tegangan dan Defleksi Connecting Rod Sepeda Motor 100 Cc Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 15(1), 30–39.
- [13] Bhandari, V. (1994). *Design of Machine Elements*. New Delhi: Tata McGraw-Hill.

- [14] Cook, R. D., & Suryatmono, B. (1990).  
Konsep dan aplikasi metode elemen hingga.  
ERESCO.



**William Halim Darmawan**  
Menyelesaikan studi program sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2019 sampai 2024

Bidang penelitian yang diminati yaitu Rekayasa Manufaktur.

# Uji Karakteristik Bahan Bakar Hasil Pirolisis Sampah Plastik Berjenis Low Density Polyethylene (LDPE) dengan Memvariasikan Laju Volume Air Pendingin pada Kondensator

Rafly Nanda Prasetya<sup>1)\*</sup>, I Nengah Suarnadwipa<sup>2)</sup>, Made Ricki Murti<sup>3)</sup>

1,2,3)Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

Pemanfaatan plastik di Indonesia jumlahnya sangat besar. Semakin banyaknya penggunaan plastik di Indonesia, timbunan sampah akan semakin bertambah banyak. Plastik LDPE merupakan jenis plastik yang paling banyak dikenal dan digunakan di Indonesia. Sampah plastik dapat diubah menjadi bahan bakar cair melalui proses pirolisis. Penelitian ini dilakukan guna mengatasi limbah plastik yang menumpuk. Sampah plastik yang terbuat dari low density polyethylene (LDPE) dipirolisis dalam penelitian ini. Alasan dilakukannya penelitian ini adalah untuk membedah sifat-sifat bahan bakar yang dihasilkan dari pirolisis. Penelitian ini memanfaatkan laju volume air pendingin sebagai variasi, yaitu 0,8 L/menit, 2,0 L/menit, 6,1 L/menit, 7,0 L/menit, 7,8 L/menit. Plastik LDPE dengan berat 1000 gram, dengan suhu pemanasan 300 °C. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa volume minyak yang dihasilkan dari proses pirolisis plastik LDPE meningkat seiring dengan laju volume air pendingin yang digunakan dalam kondensator. Namun, pengujian densitas, viskositas, nilai kalor, dan titik nyala minyak pada bahan bakar cair hasil pirolisis menunjukkan bahwa perubahan laju volume air pendingin dalam kondensator tidak berpengaruh pada karakteristik bahan bakar cair hasil pirolisis.

Kata Kunci : pirolisis, sampah plastik, kondensator, low density polyethylene (LDPE)

## Abstract

The use of plastic in Indonesia is very large. The more plastic is used in Indonesia, the more waste will be piled up. LDPE plastic is the most widely known and used type of plastic in Indonesia. Plastic waste can be converted into liquid fuel through the pyrolysis process. This effort is made to overcome the accumulation of plastic waste. Plastic waste made of low density polyethylene (LDPE) was pyrolyzed in this study. The reason for this study was to dissect the properties of the fuel produced from pyrolysis. This study uses the cooling water volume rate as a variation, namely 0.8 L/minute, 2.0 L/minute, 6.1 L/minute, 7.0 L/minute, 7.8 L/minute. LDPE plastic weighing 1000 grams, with a heating temperature of 300 °C. The results of this study indicate that the volume of oil produced from the LDPE plastic pyrolysis process increases along with the volume rate of cooling water used in the condenser. However, testing the density, viscosity, calorific value, and flash point of oil on liquid fuel from pyrolysis showed that changes in the volume rate of cooling water in the condenser did not affect the characteristics of the liquid fuel from pyrolysis.

Keywords: pyrolysis, plastic waste, condenser, low density polyethylene (LDPE)

## 1. Pendahuluan

Pemanfaatan plastik di Indonesia sangat besar. Meningkatnya pemanfaatan plastik berdampak pada peningkatan jumlah sampah plastik di Indonesia. Menurut informasi yang diperoleh dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), Indonesia menghasilkan 10,95 juta lembar sampah plastik per 100 gerai setiap tahunnya (Ekawati, 2016).

Sampah plastik merupakan salah satu sumber potensial bahan bakar cair yang dapat digunakan sebagai pengganti minyak mengingat cadangan minyak dunia yang semakin menipis. Nilai kalor plastik hampir setara dengan sumber energi tak terbarukan seperti gas dan solar. Untuk mengubah sampah plastik menjadi minyak yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar, berbagai penelitian telah dilakukan dan menunjukkan hasil yang sangat menjanjikan.

Kantong plastik merupakan salah satu jenis plastik yang banyak digunakan dan dibuang di

lingkungan. kantong kresek termasuk dalam jenis plastik LDPE. Plastik LDPE sulit terurai dan dapat menyebabkan masalah lingkungan karena bersifat non-biodegradable atau tidak dapat terurai oleh bakteri.

Pirolisis sampah plastik adalah cara untuk menangani sampah plastik. pirolisis plastik dilakukan menggunakan pemanas pada reaktor pirolisis dengan sedikit atau tanpa oksigen untuk memecah senyawa organik yang terkandung dalam plastik (Endang, 2016).

Pada penelitian yang dilakukan purwanti, Proses pirolisis plastik LDPE dipanaskan hingga 400–600 derajat Celcius dan ditimbang setiap sepuluh hingga empat puluh menit. Jumlah minyak yang diperoleh meningkat seiring dengan meningkatnya suhu dinding reaktor. Di sisi lain, jumlah sisa padatan berkurang seiring dengan meningkatnya suhu dinding reaktor (Purwanti & Sumarni, 2008).

Kondensasi adalah proses perubahan zat dalam tahap gas menjadi tahap cairan. Penelitian

\*Korespondensi: Tel./Fax.: 08961731792/-  
E-mail: raflynandap@gmail.com

mengenai pengaruh debit air dengan hasil dari pirolisis plastik Polypropilena, didapatkan volume minyak yang dihasilkan meningkat seiring bertambah besar debit yang digunakan. Pada penelitian ini disimpulkan bahwa debit air pendingin pada proses pirolisis tidak mempengaruhi karakteristik minyak hasil pirolisis (Reynei, 2019).

Ditinjau dari data yang telah dipaparkan, penelitian ini diharapkan mendapatkan hasil yang maksimal pada proses pirolisis dengan variasi laju volume air pendingin pada kondensor sehingga dapat menghasilkan bahan bakar cair yang mempunyai kualitas menyerupai bahan bakar komersial yang beredar di Indonesia.

Penelitian ini ditujukan untuk menganalisis karakteristik bahan bakar hasil proses pirolisis. Ada beberapa hal yang dapat kita bahas dalam kajian ini, yaitu bagaimana karakteristik bahan bakar hasil proses pirolisis yang meliputi nilai kalor, viskositas, dan flash point sampah plastik berjenis low density polyethylene (LDPE) dengan memvariasikan laju volume air pendingin pada kondensor. Untuk mendapatkan hasil yang diinginkan dari luasnya permasalahan yang ada, maka perlu dilakukan pembatasan antara lain :

1. Bahan uji menggunakan plastik LDPE berupa kantong kresek hitam kering.
2. Jumlah plastik yang digunakan sebanyak 1 kg.
3. Suhu lingkungan dianggap konstan.
4. Suhu reaktor dianggap konstan pada saat proses pirolisis.
5. Mesin pirolisis yang digunakan memiliki spesifikasi kondensor tunggal dan jenis aliran pada heat exchanger yaitu counter flow.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Plastik LDPE

Plastik LDPE memiliki sifat non-biodegradable atau ketidakmampuan bakteri untuk mengurai plastik LDPE. LDPE memiliki massa jenis rendah sebesar 0,742 gram/ml dan viskositas sebesar 0,78 gram/ml. LDPE dapat leleh pada suhu 115°C. Selain itu, LDPE memiliki ketahanan sintesis yang tinggi, tetapi dapat hancur dalam benzena dan juga tetrakloro karbon (CCL) (Billmeyer, 1971).

### 2.2 Pirolisis

Pirolisis adalah pemecahan atom hidrokarbon yang kompleks menjadi partikel yang kecil atau sederhana berupa gas, arang, dan minyak. proses ini adalah cara yang paling umum untuk memisahkan rantai hidrokarbon menjadi campuran yang lebih kecil melalui pemanasan atau pembakaran dengan sedikit atau tanpa oksigen. Gas yang terbentuk dapat langsung dibakar, sedangkan minyak yang terbentuk dapat digunakan sebagai

bahan tambahan atau dicampur dalam bahan bakar. Karbon aktif dan bahan bakar adalah dua penggunaan lain untuk arang yang dihasilkan

Pirolisis adalah pemecahan molekul hidrokarbon yang rumit menjadi partikel yang lebih sederhana seperti gas, arang, dan minyak. Interaksi normal ini adalah metode paling mudah untuk mengisolasi rantai polimer menjadi campuran yang lebih mudah dengan pemanasan atau pembakaran dengan sedikit oksigen. Gas yang dihasilkan dapat langsung dibakar, sedangkan minyak yang dihasilkan dapat digunakan sebagai zat tambahan atau dicampur menjadi bahan bakar. Arang yang dihasilkan juga dapat digunakan untuk bahan bakar dan karbon aktif. (A, S Chaurasia; B, V Babu, 2005).

### 2.3 Karakteristik Bahan Bakar Cair Hasil Pirolisis

Bahan bakar hasil dari proses pirolisis plastik LDPE khususnya dalam bentuk liquid/cairan mempunyai sifat fisik dan sifat kimia. Karakteristik tersebut antara lain, yaitu densitas, viskositas, nilai kalor, dan *flash point*.

#### 2.3.1 Massa Jenis

Kepadatan dalam fluida dilambangkan dengan  $\rho$  ( $\rho$ ), didefinisikan sebagai kepadatan massa atau massa fluida per satuan volume. Kepadatan adalah pengukuran massa setiap satuan volume suatu objek.

Satuan SI untuk kepadatan massa adalah  $\text{kg/m}^3$ . Karena setiap zat memiliki kepadatan massa yang unik, pengukuran kepadatan massa digunakan untuk mengidentifikasinya. Suatu zat akan memiliki kepadatan massa yang sama terlepas dari volume atau massanya.

#### 2.3.2 Viskositas

Viskositas adalah suatu ukuran yang menunjukkan hambatan aliran cairan. Kemampuan suatu zat untuk mengalir dalam media tertentu merupakan contoh viskositas. Jika viskositas cairan lebih tinggi, cairan akan lebih sulit mengalir, dan sebaliknya, jika viskositas cairan lebih rendah, cairan akan lebih mudah mengalir. Viskosimeter Oswald dapat digunakan untuk mengukur viskositas zat cair. Cara menggunakannya adalah dengan membandingkan viskositas aquadest dan zat cair lainnya.

#### 2.3.3 Flash Point

Temperature di mana uap di atas lapisan luar bahan bakar minyak akan terbakar dengan cepat (meledak/menyala seketika) saat api didekatkan dikenal sebagai "titik nyala", kemudian pada suhu

dimana uap di atas lapisan luar bahan bakar minyak akan terbakar dengan andal saat api didekatkan dikenal sebagai "titik api" (Wiratmaja, 2010).

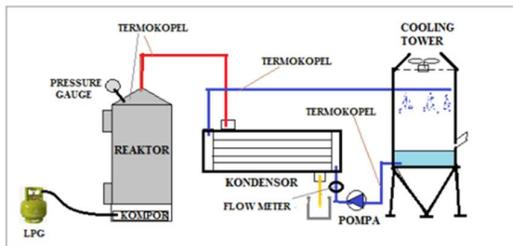
### 2.3.4 Nilai Kalor

Nilai kalor adalah angka yang menunjukkan berapa banyak kalor atau panas yang dihasilkan ketika sejumlah bahan bakar dibakar dengan udara atau oksigen. Jumlah energi yang dihasilkan ketika bahan bakar dibakar disebut sebagai nilai kalor rendah (LHV). Air berada dalam fase uap pada suhu ini. Jika jumlah kalor laten air dihitung, maka didapatkan nilai kalor atas (HHV). Pada temperature ini, air berada pada fase cair.

## 3. Metode penelitian

### 3.1 Skematik Rancangan Instalasi Alat Pirolisis dengan Sistem Pendingin Kondensor

Berikut Instalasi alat pirolisis pada penelitian kali ini yang ditampilkan seperti pada gambar.



Gambar 1. Instalasi alat pirolisis dengan pendingin kondensor

Pada Gambar 1, plastik yang dipanaskan berubah fase menjadi uap dan masuk ke dalam kondensor, kemudian di dalam kondensor terjadi proses pertukaran panas dengan air pendingin sehingga mengubah minyak hasil pirolisis dari fase gas menjadi cair. Minyak yang telah berubah fase menjadi cair tersebut mengalir keluar kondensor melewati sensor suhu keluar minyak dan masuk kedalam gelas ukur. Kondensor yang digunakan berjenis aliran counter flow. Fluida pendingin mengalir berlawanan arah dengan arah aliran gas masuk.

### 3.2 Alat dan Bahan

1. Alat pirolisis
2. Timbangan Digital
3. Gunting
4. Stopwatch
5. Thermocouple reader
6. Viscometer Ostwald
7. Perangkat bom calorimeter
8. Gelas ukur

### 3.3 Prosedur Penelitian

#### 3.3.1 Tahap Persiapan Sampel Sampah Plastik

Sampah plastik LDPE dipotong-potong kecil kemudian ditimbang sebanyak satu kilogram menggunakan timbangan digital.

#### 3.3.2 Tahap Pembuatan Sampel Minyak dengan Proses Pirolisis

1. Set up alat.
2. Masukkan limbah plastik LDPE ke dalam reaktor pirolisis sebanyak 1 kg.
3. Sirkulasikan air pendingin dengan menyalakan pompa dan fan cooling tower. Laju aliran air pendingin diatur dengan mengatur katup sehingga flow meter menunjukkan 0,08 liter/detik.
4. Nyalakan kompor pada bukaan regulator maksimum.
5. Lakukan pencatatan data pada setiap 1 menit yang meliputi tekanan reaktor, temperatur di setiap titik pengukuran. Pencatatan volume kondensat dilakukan setiap 5 menit.
6. Hentikan pengoperasian sampai pirolisis selesai, sampai tidak terbentuknya kondensat.
7. Ambil massa padatan dalam reaktor sisa proses pirolisis kemudian timbang massanya.
8. Ulangi langkah 2 sampai 6 untuk variasi laju aliran volume air pendingin berikutnya dan berikan jeda 1 jam di setiap pengujian variasi laju aliran volume air pendingin.
9. Selesai, jika setelah pengujian lengkap.

#### 3.3.3 Tahap Pengujian Karakteristik Bahan Bakar Minyak Hasil Pirolisis

Dari data dan hasil minyak yang diperoleh dari penelitian ini, selanjutnya minyak hasil pirolisis tersebut di uji guna untuk mengetahui karakteristiknya.

## 4. Hasil dan Pembahasan

Berikut tabel hasil proses pirolisis beserta grafik pengujian karakteristik minyak hasil pirolisis. Dalam pembahasan juga disertai perbandingan sifat minyak hasil pirolisis plastik LDPE dengan BBM yang beredar di Indonesia.



Gambar 2. Hasil minyak dari proses pirolisis

Pada gambar menunjukkan tabel data hasil minyak dari proses pirolisis dengan variasi laju volume air pendingin pada kondensor.

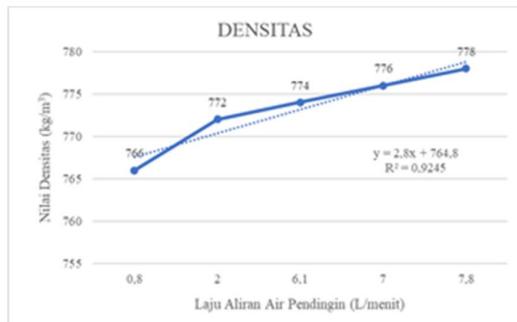
Laju Aliran Volume Air Pendingin (L/min)	Volume Hasil Minyak (mL)	Suhu Air Rata-rata (°C)		Massa Minyak Hasil Pirolisis (g)
		Masuk	Keluar	
0,8	153	30,98	34,49	117,23
2	215	30,7	31,97	165,76
6,1	405	33,86	34,17	313,47
7	455	32,93	33,02	353,08
7,8	535	32,76	33,1	414,63

Tabel 1. Tabel data hasil proses pirolisis plastik LDPE.

Dapat dilihat pada tabel, volume hasil minyak yang didapatkan mengalami peningkatan seiring bertambah besar laju volume air pendingin yang digunakan.

#### 4.1 Hasil Pengujian Densitas

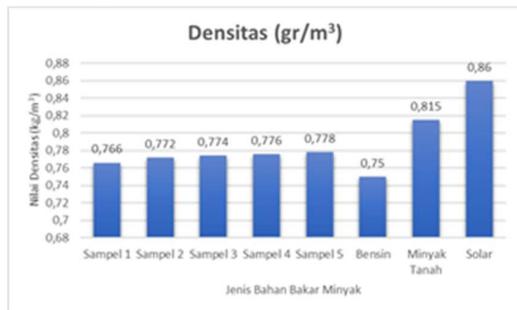
Kepadatan suatu zat pada volume tertentu, atau kerapatan massa, ditentukan oleh massa atom yang menyusun senyawa zat tersebut. Semakin besar massa pada volume yang sama, semakin besar pula kerapatan massa suatu zat.



Gambar 3. Grafik pengaruh laju volume air pendingin terhadap nilai densitas

Dalam pengujian ini, range nilai densitas yang diperoleh dari pengujian berkisar antara 0,766 hingga 0,778 gr/cm<sup>3</sup>.

Selama proses pirolisis, pemecahan molekul plastik terjadi pada reaktor. Hal ini disebabkan oleh suhu gas yang masuk ke kondensor jauh lebih rendah daripada suhu dekomposisi plastik LDPE, yang berkisar dari 300 °C hingga 500 °C, menurut penelitian oleh (Wong, Ngadi, Abdullah, & Inuwa, 2015). Proses dekomposisi suatu zat terjadi ketika zat tersebut melewati suhu dekomposisinya. Setelah terdekomposisi dan berada di bawah suhu dekomposisinya, molekul yang telah terdekomposisi akan membentuk molekul baru.



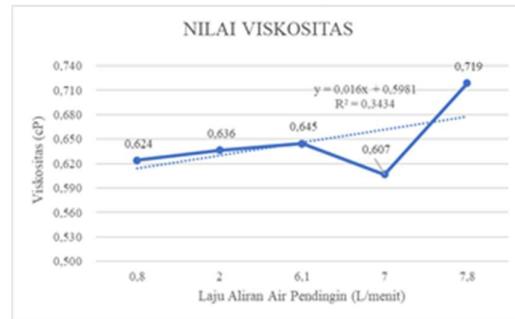
Gambar 4. Perbandingan densitas minyak LDPE dengan BBM di Indonesia

Gambar tersebut menunjukkan nilai densitas dari minyak hasil pirolisis dengan BBM di

Indonesia. Merujuk pada tabel, nilai densitas bensin sebesar 0,72 - 0,75 gr/cm<sup>3</sup>. Nilai minyak LDPE mempunyai rentang nilai densitas yang lebih tinggi daripada densitas bensin yaitu sebesar 0,766 hingga 0,778 gr/cm<sup>3</sup>, tetapi nilai densitas minyak LDPE ini masih berada dibawah nilai densitas minyak tanah yang berdensitas 0,835 gr/cm<sup>3</sup> dan nilai densitas solar yang berkisar pada 0,815 hingga 0,86 gr/cm<sup>3</sup>.

#### 4.2 Hasil Pengujian Viskositas

Nilai hambatan suatu fluida untuk mengalir dikenal sebagai viskositas. Semakin tinggi nilai kekentalan suatu zat, maka kemampuan mengalir zat tersebut akan melambat (Chang, 2010).



Gambar 5. Grafik pengaruh laju volume air pendingin terhadap nilai viskositas

Terlihat pada grafik, nilai viskositas mengalami kenaikan pada laju volume air pendingin 0,8 L/min hingga laju volume air 6,1 L/min. Pada laju volume air 0,8 L/min nilai viskositasnya sebesar 0,623 cP. Pada laju volume air 2,0 L/min nilai viskositasnya sebesar 0,636 cP. Pada laju 6,1 L/min nilai viskositasnya yaitu 0,644 cP. Kemudian terjadi penurunan nilai viskositas pada laju 7,0 L/min yaitu sebesar 0,606 cP. Kemudian pada laju 7,8 L/min nilai viskositas mengalami lonjakan dengan nilai sebesar 0,718 cP.

Pengaruh ikatan struktur kimia menyebabkan produk minyak menjadi lebih kental. Jika ikatan struktur pada senyawa semakin panjang, nilai kekentalan atau viskositasnya akan menjadi lebih tinggi (Endang, 2016).



Gambar 6. Perbandingan viskositas minyak LDPE dengan BBM di Indonesia

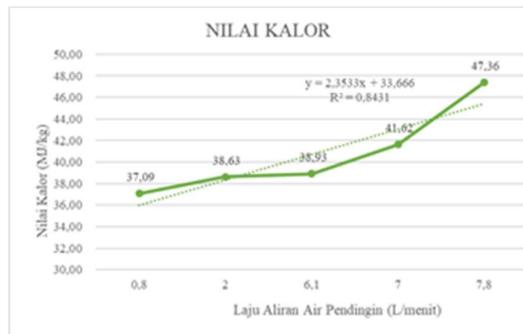
Terlihat minyak LDPE mempunyai viskositas yang hampir sama dengan viskositas bensin. Viskositas minyak pirolisis mendekati

viskositas bensin tetapi masih berada dibawah nilai viskositas bensin yaitu sebesar 0,652 cP. Untuk nilai viskositas solar berada jauh diatas nilai viskositas bahan bakar cair hasil pirolisis plastik LDPE ini.

Terlihat bahwa nilai kekentalan minyak LDPE cenderung mirip seperti nilai kekentalan bensin dan minyak tanah. Minyak LDPE berada pada rentang nilai viskositas minyak tanah Dimana nilai viskositasnya sebesar 0,293 hingga 3,34 cP. Meskipun mendekati kekentalan bensin yaitu 0,652 cP, kekentalan minyak pirolisis masih lebih rendah dari kekentalan bensin. Nilai kekentalan solar jauh lebih tinggi dari nilai kekentalan minyak LDPE.

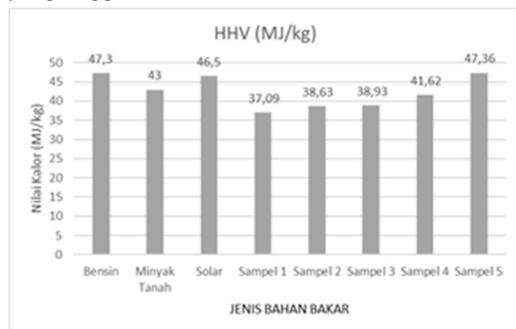
#### 4.3 Hasil Pengujian Nilai Kalor

Energi yang dilepaskan selama proses pembakaran dapat disebut sebagai nilai kalor karena nilai kalor adalah jumlah energi panas yang dihasilkan oleh suatu zat per satuan massa.



Gambar 7. Grafik pengaruh laju volume air pendingin terhadap nilai kalor

Terlihat pada grafik diatas, Hasil pengujian nilai kalor minyak LDPE ini mengalami peningkatan seiring dengan semakin besarnya jumlah laju aliran air pendingin yang digunakan. Hal tersebut menunjukkan bahwa dengan penggunaan laju aliran air pendingin yang lebih besar, proses kondensasi terhadap kondensat akan lebih optimal sehingga menghasilkan minyak dengan nilai kalor yang tinggi

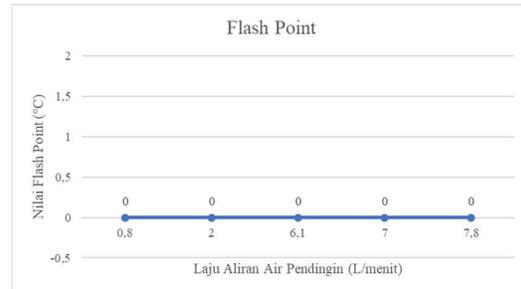


Gambar 8. Perbandingan nilai kalor minyak LDPE dengan BBM di Indonesia

Berdasarkan diagram di atas, terlihat bahwa besarnya nilai kalor semua uji minyak LDPE mempunyai nilai kalor tipikal di bawah nilai kalor ketiga jenis bahan bakar tersebut dan hanya pada

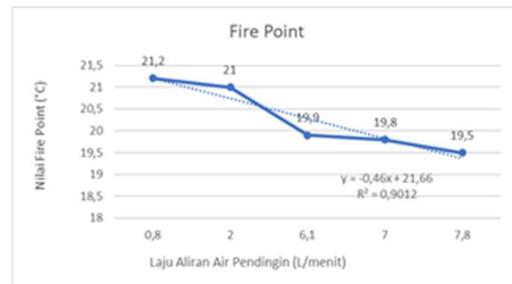
minyak hasil pirolisis variasi laju volume 7,8 L/min yang mempunyai nilai kalor diatas minyak tanah dan solar. Minyak pirolisis dengan laju volume 7,8 L/min mempunyai nilai kalor yang lebih tinggi dari minyak tanah dan solar, nilai kalor ini setara dengan nilai kalor bensin yaitu sebesar 47,3 MJ/kg.

#### 4.4 Hasil Pengujian Flash Point dan Fire Point



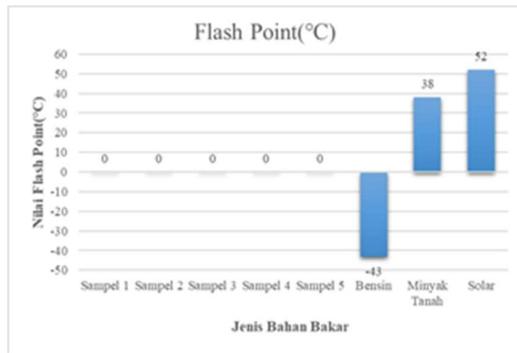
Gambar 9. Grafik pengaruh laju volume air pendingin terhadap nilai flash point

Berdasarkan gambar, flash point minyak LDPE yang didapatkan pada setiap variasi sampel minyak yaitu sebesar 0°C. Sampel bahan bakar cair hasil pirolisis plastik LDPE ini kemungkinan masih mampu mencapai temperature titik nyala yang lebih rendah dari 0°C. Bahan bakar cair yang diuji hanya dapat didinginkan mencapai temperature 0°C, sehingga nilai flash point dari bahan bakar cair ini berada pada <0°C.



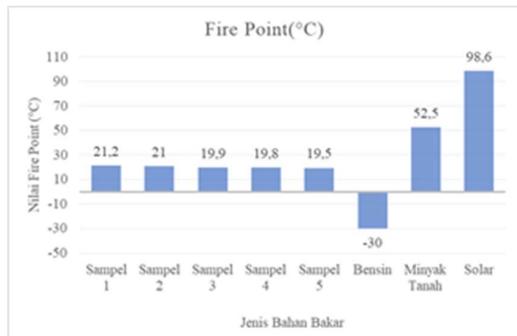
Gambar 10. Grafik pengaruh laju volume air pendingin terhadap nilai fire point

Pada grafik, nilai fire point plastik mengalami penurunan seiring bertambahnya variasi jumlah laju volume air pendingin yang digunakan. Terlihat pada grafik, temperature fire point yang dihasilkan minyak hasil pirolisis LDPE berada pada temperature dengan rata-rata yaitu 20,3°C. Temperature fire point pada kelima sampel minyak hasil pirolisis plastik LDPE dengan variasi laju volume air pendingin menunjukkan perbedaan yang tidak terlalu signifikan.



Gambar 11. Perbandingan flash point minyak LDPE dengan BBM di Indonesia

Pada grafik diatas terlihat bahwa nilai flash point berada diangka -43°C. Sedangkan nilai flash point dari minyak hasil pirolisis plastik LDPE ini juga berada dibawah 0°C. Flash point minyak LDPE ini hampir mendekati dengan flash point dari bensin hanya saja masih belum didapat temperature pastinya dari titik nyala dari minyak pirolisis ini sehingga tidak dapat dipastikan seberapa mendekati nilai flash point minyak hasil pirolisis ini dengan BBM jenis bensin. Sedangkan minyak LDPE ini mempunyai titik nyala jauh dibawah titik nyala dari BBM jenis minyak tanah dan solar.



Gambar 12. Perbandingan fire point minyak LDPE dengan BBM di Indonesia

Seperti yang terlihat pada grafik di atas, fire point minyak LDPE jauh lebih rendah daripada fire point bahan bakar solar dan minyak tanah. Fire point minyak LDPE berkisar antara 19°C hingga 21°C, sedangkan fire point minyak tanah adalah 52°C dan solar adalah 98,6°C. Fire point minyak LDPE lebih tinggi daripada fire point bensin, yaitu -30°C.

## 5. Kesimpulan

Dapat disimpulkan bahwa variasi laju volume air pendingin pada kondensor mempunyai pengaruh terhadap volume minyak. Akan tetapi, variasi laju volume air pendingin pada kondensor mempunyai pengaruh yang cenderung kecil terhadap karakteristik minyak LDPE hasil pirolisis.

## 6. Daftar Pustaka

- [1] Ekawati, S. 2016. *Mengkritisi Kebijakan Penanganan Kantong Plastik di Indonesia*. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Badan Penelitian, Pengembangan dan Inovasi Pusat Penelitian dan Pengembangan Sosial, Ekonomi, Kebijakan dan Perubahan Iklim.
- [2] Endang, K. 2016. *Pengolahan Sampah Plastik dengan Metode Pirolisis menjadi Bahan Bakar Minyak*. Bandung: Politeknik Negeri Bandung.
- [3] Purwanti, A., & Sumarni. 2008. *Kinematika Reaksi Pirolisis Plastik Low Density Polyethylene (LDPE)*. Yogyakarta: AKPRIND.
- [4] Reynei, R. 2019. *Pengaruh Debit dan Arah Aliran Air Pendingin Kondensor Tipe Double Tube Terhadap Minyak Hasil Plastik Pirolisis Polypropylene*. Malang: Universitas Brawijaya.
- [5] Billmeyer, B. 1971. *Textbook of Polymer Science*.
- [6] A, S Chaurasia; B, V Babu. 2005. *Modeling and Simulation of Pyrolysis of Biomass*. Effect of Thermal Conductivity, Reactor Temperatur and Particle Size on Product Concentrations. India.
- [7] Wiratmaja, I. G. 2010. *Pengujian Karakteristik Fisika Biogasoline Sebagai Bahan Bakar Alternatif Pengganti Bensin Murni*. Bali.
- [8] Wong, S., Ngadi, N., Abdullah, T., & Inuwa, I. 2015. *Current state and future prospects of plastic waste as source of fuel: A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 50, 1167-1180.
- [9] Chang, R. 2010. *Chemistry 10th Edition*. NewYork: McGraw-Hill.



**Rafly Nanda Prasetya** menyelesaikan pendidikan SMA di SMAN 15 Surabaya pada tahun 2019, kemudian mengambil S1 Teknik Mesin di Universitas Udayana pada tahun 2019. Pada tugas akhir ia riset mengenai Pirolisis Plastik LDPE dengan judul skripsi “Uji Karakteristik Bahan Bakar Hasil Pirolisis Sampah Plastik Berjenis Low Density Polyethylene (LDPE) dengan Memvariasikan Laju Volume Air Pendingin pada Kondensor”.

**Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan konversi energi.**

# PENGARUH VARIASI LAJU VOLUME AIR PENDINGIN DI KONDENSOR TERHADAP PERFORMANSI PROSES PIROLISIS PLASTIK *LOW DENSITY POLYTHYLENE* (LDPE)

Fahmi Mahardika, I Nengah Suarnadwipa, Made Ricki Murti  
*Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit Jimbaran Bali*

---

## Abstrak

Permasalahan sampah masih belum terselesaikan, dengan produksi sampah meningkat akibat pertumbuhan penduduk, pola konsumsi, dan gaya hidup; sampah organik mencapai 60-70%, sedangkan sampah plastik 14%, terutama kantong plastik. Metode pirolisis yang ramah lingkungan dan tidak menghasilkan gas berbahaya seperti CO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> digunakan untuk mengubah plastik menjadi bahan bakar minyak dengan karakteristik tertentu, di mana kondensor berperan penting dalam menentukan hasil minyak dengan metode air kondensor mengalir memberikan hasil lebih banyak dibandingkan metode lainnya, sehingga penelitian diperlukan untuk memvariasikan laju air pendingin pada kondensor untuk hasil pirolisis yang optimal. Tujuan daripada penelitian ini adalah untuk memahami pengaruh variasi laju volume air pendinginan di kondensor terhadap volume minyak, kapasitas pendingin, dan rasio hasil proses pirolisis. Penelitian ini menggunakan sampah plastik LDPE yang telah dipotong dengan ukuran 1 cm × 1 cm kemudian pada proses pirolisisnya memvariasikan laju air pendingin dengan nilai 0,08 L/menit, 2 L/menit, 6,1 L/menit, 7 L/menit, dan 7,8 L/menit. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini adalah semakin tinggi laju aliran air pendinginan pada kondensor maka semakin banyak minyak yang dihasilkan proses pirolisis pada penelitian ini sebanyak 535 mL serta ada peningkatan rasio minyak terhadap plastik LDPE yang digunakan sebanyak 41,463%. Tetapi, pada penelitian ini semakin tinggi laju aliran air pendingin pada kondensor maka akan terjadi penurunan pada kapasitas pendinginan pada kondensor dengan nilai terendah 43,6559 Watt.

*Kata kunci : Pirolisis, Plastik LDPE, Kondensor, Laju Air Pendinginan, Kapasitas Pendinginan*

## Abstract

The waste problem remains unresolved, with waste production increasing due to population growth, consumption patterns, and lifestyles; organic waste accounts for 60-70%, while plastic waste is 14%, especially plastic bags. Pyrolysis methods that are environmentally friendly and do not produce harmful gases such as CO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> are used to convert plastics into fuel oil with certain characteristics, where the condenser plays an important role in determining the oil yield with the condenser water flow method giving more results than other methods, so research is needed to vary the cooling water rate in the condenser for optimal pyrolysis results. The purpose of this study was to determine the effect of varying the volume rate of cooling water in the condenser on oil volume, cooling capacity, and pyrolysis process yield ratio. This research uses LDPE plastic waste that has been cut with a size of 1 cm × 1 cm then in the pyrolysis process varies the cooling water rate with a value of 0.08 L/min, 2 L/min, 6.1 L/min, 7 L/min, and 7.8 L/min. The results obtained in this study are the higher the cooling water flow rate in the condenser, the more oil produced in the pyrolysis process in this study as much as 535 mL and there is an increase in the ratio of oil to LDPE plastic used as much as 41.463%. However, in this study, the higher the cooling water flow rate in the condenser, there will be a decrease in the cooling capacity of the condenser with the lowest value of 43.6559 Watt.

*Keywords: Pyrolysis, LDPE Plastic, Condenser, Cooling Water Rate, Cooling Capacity*

---

## 1. Pendahuluan

Permasalahan sampah masih belum terselesaikan dalam konteks peningkatan produksi sampah seiring dengan perkembangan jumlah penduduk, kebiasaan konsumsi serta gaya hidup masyarakat yang berubah. Aktivitas manusia menghasilkan komposisi sampah sekitar 60-70% sampah organik dan 30-40% sisanya merupakan sampah non-organik, sedangkan komposisi sampah non-organik terbesar kedua yaitu 14% adalah sampah plastik. Sampah plastik yang terbanyak yaitu jenis kantong plastik atau kantong kresek selain plastik kemasan [1].

Pengelolaan sampah yang dilakukan saat ini hanya sekadar penggunaan kembali (*reuse*), daur ulang (*recycle*) serta pembakaran. Tetapi, masing-

masing dari metode tersebut memiliki beberapa kerugian. Kerugian dari *reuse* yakni beberapa jenis plastik tidak baik bagi kesehatan jika digunakan berulang kali. Berikutnya kelemahan dari daur ulang adalah plastik yang sudah didaur ulang menjadi barang plastik lagi akan kehilangan kualitas plastiknya. Kelemahan dari proses pembakaran ialah menghasilkan karbon monoksida yang berbahaya bagi lingkungan, dan juga dioksin yang dapat menyebabkan berbagai penyakit pada organisme. Karena pencemaran akibat pembakaran maka diperlukan cara lain yang lebih ramah lingkungan dan lebih aman bagi kesehatan. Metode daur ulang plastik menjadi bahan bakar minyak bisa dilakukan dengan menggunakan pirolisis.

Pirolisis ialah proses dekomposisi termal tanpa menggunakan oksigen. Proses tersebut mencegah

pembentukan CO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> sebab tidak ada oksigen yang terlibat pada proses ini. Pirolisis menguraikan rantai hidrokarbon menjadi rantai yang lebih kecil namun memerlukan suhu yang sangat panas dan durasi yang cukup lama. Fluida (minyak) yang dihasilkan dari proses pirolisis memiliki nilai oktan yang rendah dengan *pour point diesel* yang lebih tinggi dan lebih banyak residunya [2]. Pirolisis banyak digunakan dalam industri kimia, misalnya untuk produksi arang, karbon aktif, metanol dan bahan kimia lainnya dari kayu, konversi etilen diklorida menjadi vinil klorida untuk produksi PVC, produksi kokas dari batu bara, mengubah biomassa menjadi gas, mengubah limbah menjadi bahan sekali pakai yang aman, serta memotong rantai hidrokarbon dari rantai minyak yang panjang menjadi rantai sedang untuk menghasilkan rantai yang lebih pendek seperti bensin.

Pengolahan palstik akan menjadi lebih signifikan dampaknya jika dilakukan pada jenis plastik yang mempunyai jumlah yang paling banyak di lingkungan limbah. Plastik LDPE tercatat sebagai plastik dengan jumlah palimg banyak kedua di dunia [3]. Pirolisis yang dilakukan pada jenis plastik LDPE akan efektif menghasilkan minyak dengan karakteristik yang cukup baik pada antara suhu 260°C-300°C [4].

Proses pirolisis merupakan bagian terpenting pada peralatan destilasi uap, khususnya kondensor. Kondensor dievaluasi berdasarkan jenis dan desain yang mempengaruhi kinerja minyak yang dihasilkan melalui distilasi dan baik dari segi efisiensi dan kualitas. Saat mendinginkan uap minyak selama pirolisis, kondensor digunakan untuk mengembunkan uap panas dari plastik yang terbakar, yang akan menjadi bahan bakar solar atau bensin.

Produk yang dihasilkan alat pirolisis yang menggunakan metode air kondensor mengalir lebih banyak dibandingkan dengan metode air kondensor tidak mengalir [5]. Untuk mengetahui produk pirolisis yang baik maka diperlukan penelitian ini dengan memvariasikan laju air pendingin pada kondensor.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi laju volume air pendinginan di kondensor terhadap volume minyak, kapasitas pendingin, dan rasio hasil proses pirolisis plastik LDPE. Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh variasi laju volume air terhadap performansi proses pirolisis plastik LDPE. Agar didapatkan hasil yang diinginkan dari luasnya permasalahan ini maka diperlukan pembatasan antara lain :

1. Jenis plastik yang akan digunakan pada penelitian ini ialah jenis plastik LDPE (*Low Density Polyethylene*)
2. Mesin pirolisis yang digunakan memiliki spesifikasi kondensor tunggal dan jenis aliran pada heat exchanger yaitu counter flow
3. Karakteristik hasil pirolisis ini tidak diteliti lebih lanjut

4. Pengamatan dilakukan terhadap laju pendinginan proses pirolisis

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Plastik

Plastik berasal dari polimer. Definisi paling sederhana dari polimer adalah sesuatu yang terdiri dari banyak unit molekul atau yang disebut rantai molekul [6]. Setiap mata rantai dalam rantai biasanya terbuat dari karbon, hidrogen, oksigen dan/atau silikon. Berdasarkan ketahanan panasnya, plastik dapat dibedakan menjadi dua jenis yakni plastik *thermoplastic* dan plastik *thermosetting*. *Thermoplastic* adalah salah satu jenis bahan plastik yang jika dipanaskan hingga suhu tertentu akan meleleh dan dapat dibentuk kembali menjadi bentuk yang diinginkan. *Thermosetting* adalah jenis plastik yang setelah diproduksi dalam bentuk padat, tidak dapat meleleh lagi jika dipanaskan.

LDPE merupakan plastik penghasil panas yang berasal dari minyak bumi dengan rumus molekul (-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>)<sub>n</sub>. Plastik jenis ini keras, tahan lama, tidak bereaksi dengan bahan kimia lain, dan mungkin merupakan plastik dengan kualitas terbaik. LDPE dapat ditemukan pada kantong plastik, botol, wadah, mainan, peralatan komputer, dan wadah cetakan.

### 2.2 Pirolisis

Pirolisis adalah proses penguraian bahan organik dengan panas tanpa oksigen [7]. Jika oksigen terdapat dalam reaktor pirolisis, maka akan bereaksi dengan material membentuk abu. Untuk menghilangkan oksigen, pirolisis seringkali dibantu dengan aliran gas inert berupa nitrogen untuk mengikat oksigen atau oksidan dan mengeluarkannya dari reaktor.

Selama proses pirolisis, rantai panjang senyawa karbon, hidrogen dan oksigen pada plastik dipecah menjadi molekul yang lebih kecil menjadi tiga wujud utama :

- Padat/*Solid* (umumnya karbon)
- Cairan/*Liquid* (air, tar, *bio-oil*, dan hidrokarbon yang lebih berat)
- Gas (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, CO, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, dll)

### 2.3 Kondensor

Kondensor ialah salah satu jenis instrumen penukar kalor yang mempunyai fungsi mengembunkan fluida kerja [8]. Kondensor dapat mengubah fase gas menjadi cair yang dari suhu tinggi melalui dinding kondensor sebagai media kondensasi, sehingga uap akan didinginkan hingga fasa tersebut berubah menjadi fasa cair yang bersuhu rendah. Kondensor mempunyai dua jenis proses perpindahan panas, yaitu perpindahan panas konduksi dan perpindahan panas konveksi.

$$Q_c = \dot{m}_c C_p (T_o - T_i) \quad (1)$$

Dimana :  $Q_c$  = kapasitas pendinginan (Watt)

$\dot{m}_c$  = laju aliran massa fluida pendingin (kg/s)

$C_p$  = kalor spesifik fluida pendingin

$$T_o = \text{temperatur fluida keluar } (^{\circ}\text{C})$$

$$T_i = \text{temperatur fluida masuk } (^{\circ}\text{C})$$

### 3. Metode Penelitian

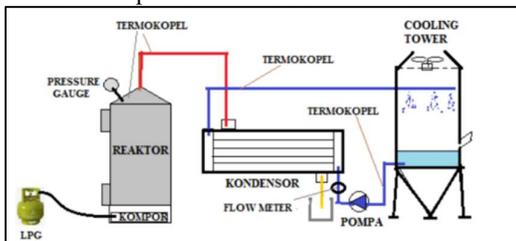
#### 3.1 Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan plastik LDPE yang sebagai kantong makanan atau kantong kresek di pusat perbelanjaan kemudian dipotong dengan ukuran 1 cm × 1 cm.

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

##### 1. Alat Pirolisis

Alat yang berfungsi untuk melakukan proses pirolisis plastik LDPE sehingga memperoleh produk pirolisis sesuai dengan tujuan. Skema rancangan alat pirolisis dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Skematik Rancangan Penelitian Kapasitas pendinginan pada Pengembangan Sistem Pirolisis Limbah Plastik

##### 2. Timbangan Digital

Timbangan digital berfungsi untuk mengetahui massa plastik LDPE yang akan digunakan untuk pada proses pirolisis dan hasil minyak pirolisis plastik LDPE.

##### 3. Gunting

Gunting berfungsi untuk memotong plastik LDPE yang akan digunakan.

##### 4. Gelas Ukur

Gelas ukur berfungsi untuk mengukur volume minyak hasil proses pirolisis plastik LDPE.

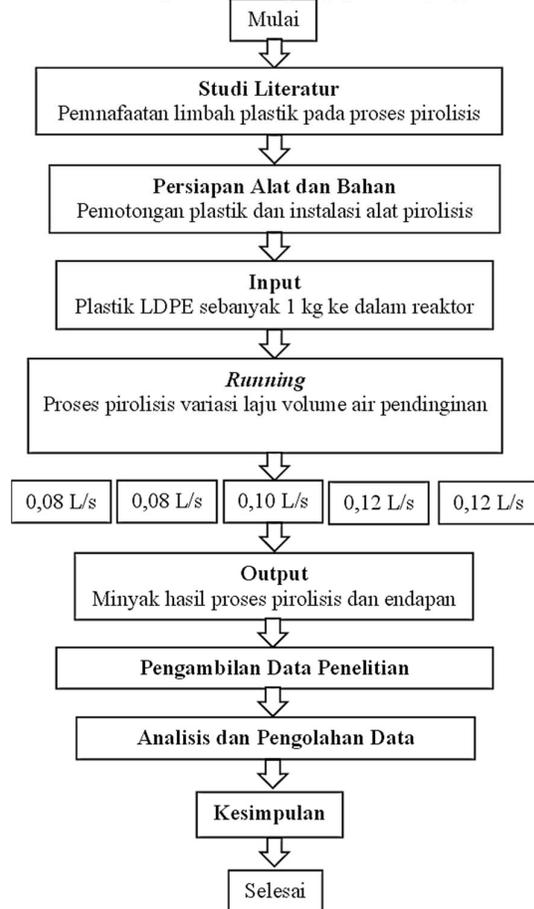
##### 5. Stopwatch

Stopwatch berfungsi untuk menghitung waktu volume yang keluar saat proses pirolisis plastik LDPE

Prosedur proses pirolisis yang dilakukan yaitu:

- Set up alat.
- Masukkan limbah plastik LDPE ke dalam reaktor pirolisis sebanyak 1 kg.
- Sirkulasikan air pendingin dengan menyalakan pompa dan fan cooling tower. Laju aliran air pendingin diatur dengan mengatur katup sehingga flow meter menunjukkan 0,08 liter/menit.
- Nyalakan kompor pada bukaan regulator maksimum.
- Proses pirolisis ini akan bekerja selama gas elpiji habis.

- Hentikan pengoperasian sampai pirolisis selesai, sampai tidak terbentuknya kondensat.
- Ambil massa padatan dalam reaktor sisa proses pirolisis serta hasil minyak kemudian timbang massanya.
- Ulangi langkah 2 sampai 6 untuk variasi laju aliran volume air pendingin berikutnya dan berikan jeda 1 jam di setiap pengujian variasi laju aliran volume air pendingin.
- Selesai, jika setelah pengujian lengkap.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

### 4. Hasil dan Pembahasan

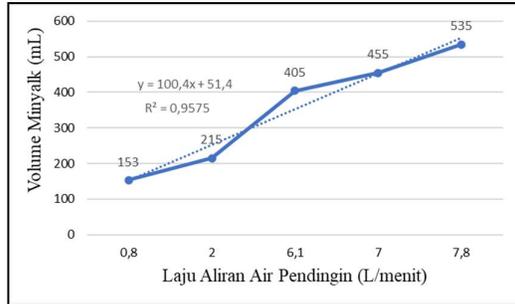
#### 4.1 Hasil Minyak Pirolisis



Laju Aliran Volume Air Pendinginan (L/menit)	Volume Hasil Minyak (mL)	Suhu Rata-Rata Air Pendingin (°C)		Massa Minyak Hasil Pirolisis (g)	Residu (g)
		Air Masuk	Air Keluar		
0,8	153	30,98	34,49	117,23	672
2	215	30,7	31,97	165,76	556
6,1	405	33,86	34,17	313,47	420
7	455	32,93	33,02	353,08	398
7,8	535	32,76	33,1	414,63	379

Tabel 1. Data Hasil Penelitian Proses Pirolisis Plastik LDPE

#### 4.2 Analisis Data Hasil Minyak Pirolisis



Gambar 3 Grafik Hubungan Laju Aliran Air Pendingin dengan Hasil Volume Minyak

Terlihat pada Gambar 3, bahwa volume minyak yang dihasilkan bertambah seiring dengan bertambahnya laju volume air pendingin kondensor. Pada variasi aliran air pendingin 7,8 L/menit memiliki hasil jumlah hasil volume minyak yang paling tertinggi dan hasil jumlah volume minyak hasil kondensasi terendah didapatkan pada variasi debit 0,8 L/menit pada kondensor. Dimana panas yang ada akan dialirkan dan dibuang serta diganti atau diisi ulang dengan air pendingin baru agar kondensor tetap dingin [9]

#### 4.3 Analisis Kapasitas Pendinginan Proses Pirolisis

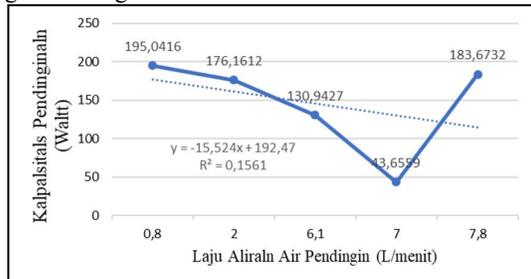
Untuk menghitung kapasitas pendinginan pada kondensor maka dapat menggunakan rumus sebagai berikut.

$$Q_{c1} = \dot{m}_{c1} C_p (T_o - T_i)$$

$$Q_{c1} = 0,0133 \times 4178(34,49 - 30,98)$$

$$Q_{c1} = 195,0416 \text{ Watt}$$

Dengan perhitungan yang sama untuk kapasitas pendinginan lain maka dapat dilihat pada grafik sebagai berikut.



Gambar 4. Grafik Hubungan Laju Aliran Air Pendingin dengan Kapasitas Pendinginan

Terlihat pada Gambar 4 bahwa semakin bertambahnya laju volume air maka semakin berkurang kapasitas pendinginannya. Variasi laju volume 0,8 L/menit menghasilkan nilai kapasitas pendinginan paling tinggi dengan nilai 195,0416 Watt, dan pada variasi laju volume 7 L/menit menghasilkan nilai kapasitas pendinginan paling rendah dengan nilai 43,6559 Watt. Penyebabnya adalah semakin besar laju aliran air pendingin akan semakin banyak pula kalor yang diserap oleh air pendingin sehingga perbedaan suhu air pendingin masuk dan keluar tidak tinggi.

Laju perpindahan panas di kondensor sangat dipengaruhi oleh laju aliran air pendingin. Semakin cepatnya laju aliran pendingin maka semakin cepat pula laju perpindahan panas yang terjadi di kondensor [10]. Hal tersebut disebabkan sebab panas yang dibuang oleh kondensor cenderung bertambah yang seiring dengan bertambahnya laju volume air pendingin yang digunakan pada proses pirolisis tersebut.

#### 4.4 Analisis Rasio Minyak terhadap Plastik LDPE

Laju Aliran Air Pendingin (L/menit)	Massa Minyak Hasil Pirolisis (g)	Massa Plastik LDPE (g)	Rasio
0,8	117,23	1000	11,723 %
2	166,14	1000	16,614 %
6,1	313,47	1000	31,347 %
7	353,08	1000	35,308 %
7,8	414,63	1000	41,463 %

Tabel 2. Rasio Minyak yang Dihasilkan dengan massa Plastik

Terlihat pada tabel 2, pada laju aliran air pendingin 0,8 L/menit memiliki nilai rasio hasil minyak yang paling rendah dengan nilai 11,723 % dan pada laju aliran air pendingin 7,8 L/menit memiliki nilai rasio yang paling tinggi dengan nilai 41,463 % sehingga semakin rendah laju air pendingin maka semakin tinggi temperatur air pendingin yang keluar dari kondensor semakin tinggi karena proses penyerapan panas lebih lambat. Hal ini dikarenakan semakin rendah laju air pendingin yang masuk pada kondensor maka kecepatan laju aliran air pendingin juga akan semakin rendah sehingga kontak air akan semakin lama sehingga menyebabkan temperatur air pendingin akan semakin meningkat [11].

Hal itu menyebabkan rasio perubahan plastik ke minyak yang dihasilkan. Semakin tinggi laju aliran air pendingin maka semakin tinggi pula perubahan minyak yang didapatkan oleh proses pirolisis karena uap panas minyak berhasil didinginkan dengan baik.

#### 5. Kesimpulan

Berdasarkan data hasil penelitian yang didapat bisa disimpulkan bahwa untuk menghasilkan minyak yang semakin banyak maka laju aliran air pendinginan pada kondensor harus semakin tinggi, minyak yang dihasilkan pada proses pirolisis pada penelitian ini sebanyak 535 mL serta ada peningkatan

rasio minyak terhadap plastik LDPE yang digunakan sebanyak 41,463%. Tetapi, pada penelitian ini semakin tinggi laju aliran air pendingin pada kondensor maka akan terjadi penurunan pada kapasitas pendinginan pada kondensor dengan nilai terendah 43,6559 Watt.

Power Plants," *Thermal Science*, pp. 53-66, 2010.

- [11] T. Sutandi and Markus, "Uji Performansi Sistem Refrigerasi dengan Variasi Debit Air Pada Waret-Cooled Condenser," *Journal Of Refrigeration*, pp. 608-6012, 2011.

#### Daftar Pustaka

- [1] P. Purwaningrum, "Upaya Mengurangi Timbulan Sampah Plastik," pp. 141-147, 2016.
- [2] R. J. A and P. R, "Conversion of Plastics Wastes Into Luquid Fuels A Review," *Recent Advances in Bioenergy Research*, vol. III.
- [3] D. A. Sharuddin, "A Review on Pyrolysis of Plastic Wastes," *Energy Conversion and Management*, no. 115, pp. 308-326, 2016.
- [4] I. K. Nasrun, "Studi Awal Produksi Bahan Bakar dan Proses Pirolisis Kantong Plastik Bekas," *Jurnal Teknologi Kimia Unimal 5 (1)*, pp. 30-44, 2016.
- [5] Mustaqim, "Pengaruh Air Pendingin Kondensor Terhadap Proses Pengembunan Proses Pirolisis," 2019.
- [6] Q. Rachmawati, *Pengolahan Sampah secara Pirolisis dengan Variasi Rasio Komposisi Sampah dan Jenis Plastik*, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November, 2015.
- [7] D. Mustofa K., *Pirolisis Sampah Plastik Hingga Suhu 900oC Sebagai Upaya Menghasilkan Bahan Bakar Ramah Lingkungan*, Jakarta: Politeknik Negeri Jakarta, 2014.
- [8] S. Haryadi, *Pengaruh Arah Aliran Air Pendingin Pada Kondensor Terhadap Hasil Pengembunan Proses Pirolisis Limbah Plastik*, Semarang: Universitas Negeri Semarang, 2015.
- [9] K. Riduan and I. G. A. J., "Pengaruh Media Pendingin Air Pada Kondensor Terhadap Kemampuan Kerja Mesin Pendingin," *TURBO*, pp. 1-6, 2014.
- [10] S. L. Mirjana, M. M. Stojiljkovic, . S. V. Lakovic, V. P. Stefanovic and D. D. Mitrovic, "Impact Of The Cold end Operating Conditions On Energy Efficiency Of The Stem

	<p><b>Fahmi Mahardika</b> menyelesaikan pendidikan SMA di SMAN 4 Surabaya pada tahun 2019, kemudian mengambil S1 Teknik Mesin di Universitas Udayana pada tahun 2019. Pada tugas akhir melakukan penelitian pirolisis dengan judul skripsi "Pengaruh Variasi Laju Volume Air Pendingin Di Kondensor Terhadap Performansi Proses Pirolisis Plastik <i>Low Density Polyethylene</i> (LDPE)".</p>

# ANALISIS TEGANGAN DAN REGANGAN AKIBAT VARIASI NILAI KOEFISIEN GESEK PADA INTERAKSI KONTAK RING PISTON DENGAN CYLINDER LINER MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Zerry Hansnico Christian Mausi Nababan<sup>1)</sup>, I Made Gatot Karohika<sup>2)</sup>, I Made Widiyarta<sup>3)</sup>

Program Studi Teknik mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

*Cylinder liner* merupakan komponen yang berfungsi untuk melindungi bagian dalam blok mesin dari gesekan langsung dengan ring piston sedangkan *ring piston* sendiri ialah komponen yang berfungsi untuk memperkecil celah antara piston dengan *cylinder liner* sehingga tekanan dan temperatur gas di dalam ruang bakar tetap terjaga dalam kondisi optimal. Penelitian ini hendak diteliti bagaimana tegangan dan regangan yang terjadi akibat adanya kenaikan nilai koefisien gesek pada interaksi kontak *ring piston* dengan *cylinder liner*. Pembebanan yang diberikan ialah tekanan 2 MPa kemudian koefisien gesek yang terjadi antara besi cor dengan besi cor dalam kondisi dilumasi yaitu 0.08, 0.1, dan 0.12. Berdasarkan hasil simulasi peningkatan nilai koefisien gesek memberikan pengaruh terhadap peningkatan nilai tegangan dan regangan yang terjadi pada *cylinder liner*. Pada koefisien gesek 0.08 tegangan yang terjadi pada *cylinder liner* ialah sebesar 162.76 MPa dan regangan sebesar 0.0020007 m/m. Pada koefisien gesek 0.1 tegangan yang terjadi ialah sebesar 163.73 MPa dan regangan sebesar 0.002006 m/m. Pada koefisien gesek 0.12 tegangan yang terjadi ialah sebesar 164.91 MPa dan regangan sebesar 0.0020143 m/m

Kata kunci: *cylinder liner*, *ring piston*, interaksi kontak, tegangan, regangan

## Abstract

*Cylinder liner* is a component that serves to protect the inside of the engine block from direct friction with the piston ring while the piston ring itself is a component that serves to minimize the gap between the piston and the cylinder liner so that the pressure and temperature of the gas in the combustion chamber are maintained in optimal conditions. This study is to investigate how the stress and strain that occurs due to an increase in the value of the coefficient of friction on the contact interaction of the piston ring with the cylinder liner. The loading given is a pressure of 2 MPa then the coefficient of friction that occurs between cast iron and cast iron in lubricated conditions is 0.08, 0.1, and 0.12. Based on the simulation results, increasing the value of the friction coefficient has an effect on increasing the stress and strain values that occur in the cylinder liner. At a friction coefficient of 0.08 the stress that occurs in the cylinder liner is 162.76 MPa and a strain of 0.0020007 m/m. At a friction coefficient of 0.1 the stress that occurs is 163.73 MPa and a strain of 0.002006 m/m. At a friction coefficient of 0.12 the stress that occurs is 164.91 MPa and a strain of 0.0020143 m/m.

Keywords: *cylinder liner*, *piston ring*, *contact interaction*, *stress*, *strain*

## 1. Pendahuluan

Mesin pembakaran dalam ialah salah satu jenis mesin yang umum ditemui dalam kehidupan sehari-hari. Terdapat dua jenis mesin pembakaran dalam yaitu mesin bensin dan mesin diesel. Pada dasarnya kedua mesin tersebut memiliki prinsip kerja yang sama yaitu mengubah energi kimia pada bahan bakar menjadi energi gerak dan panas menggunakan proses pembakaran. Proses pembakaran ini terjadi di dalam blok silinder, di mana di dalam blok silinder ini terdapat sebuah torak yang akan bergerak translasi akibat tekanan hasil proses pembakaran. Gerak translasi inilah yang akan menggerakkan poros engkol guna menggerakkan roda melalui sistem transmisi.

Cylinder liner adalah sebuah silinder berlubang yang dilekatkan dan terpasang erat pada blok silinder. Cylinder liner memiliki fungsi yaitu melindungi bagian dalam blok silinder dari gesekan langsung dengan ring piston akibat adanya gerak translasi, dan menjadi rumah bagi piston sedangkan ring piston ialah komponen yang berfungsi untuk

memperkecil celah antara piston dengan cylinder liner sehingga tekanan dan temperatur gas di dalam ruang bakar tetap terjaga dalam kondisi optimal [1].

Piston bergerak translasi saat pembakaran terjadi. Gerakan translasi ini dapat menimbulkan keausan serta tegangan pada dinding cylinder liner bagian dalam. Keausan ini dapat mengakibatkan kelonggaran pada dinding cylinder liner [2]. Kelonggaran ini dapat menimbulkan kebocoran gas, tekanan kompresi, dan tenaga yang dihasilkan juga berkurang yang berujung pada meningkatnya kebutuhan minyak pelumas dan bahan bakar serta berkurangnya umur pakai komponen cylinder liner dan ring piston.

Pada penelitian ini akan dilakukan analisa pengaruh koefisien gesek terhadap tegangan dan regangan yang terjadi pada *cylinder liner* sebagai akibat adanya kontak *sliding*. Metode yang akan digunakan dalam penelitian ini ialah metode elemen hingga dengan bantuan perangkat lunak *ANSYS Workbench*.

Penelitian ini bertujuan untuk melihat seberapa besar nilai tegangan dan regangan yang terjadi di sepanjang *cylinder liner* sebagai akibat adanya pembebanan berupa tekanan dan koefisien gesek.

Adapun batasan masalah yang ditetapkan dalam penelitian ini ialah sebagai berikut

1. Penelitian ini akan menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan perangkat lunak ANSYS Workbench
2. Material yang akan digunakan ialah besi cor kelabu pada *cylinder liner* dan besi cor nodular pada *ring piston*
3. Penelitian ini tidak membahas variasi material
4. Penelitian ini tidak membahas desain
5. Penelitian ini tidak membahas pengaruh suhu

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Tegangan

Tegangan ialah intensitas gaya pada elemen struktur sebagai bentuk reaksi akibat deformasi yang timbul disebabkan oleh bekerjanya beban dari luar [3]. Di bawah ini ialah persamaan tegangan

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Dimana :

- $\sigma$  = Tegangan normal ( N/m<sup>2</sup> )
- P = Gaya normal ( N )
- A = Luas penampang ( m<sup>2</sup> )

### 2.2 Regangan

Regangan sendiri dapat diartikan sebagai pertambahan panjang per satuan panjang, dan bila regangan yang terjadi akibat adanya tegangan normal maka regangan tersebut dapat disebut sebagai regangan normal (*normal strain*) [3]. Persamaan regangan dapat ditulis sebagai berikut

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \quad (2)$$

Dimana :

- $\varepsilon$  = Regangan ( m/m )
- $\delta$  = Perubahan Panjang ( m )
- L = Panjang awal ( m )

### 2.3 Tegangan Von Mises

Tegangan Von Mises ialah tegangan tarik uniaksial yang dapat menghasilkan energi distorsi yang sama dengan yang dihasilkan oleh kombinasi tekanan yang bekerja [4]. Persamaan dari tegangan Von Mises ialah sebagai berikut

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \quad (3)$$

### 2.4 Gesekan

Gesekan adalah sebuah fenomena yang terjadi ketika terdapat dua benda yang saling bersinggungan satu sama lain. Sedangkan, gaya gesek ialah gaya yang timbul ketika dua benda tersebut saling bersinggungan [5]. Besar gaya gesek yang dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$f = \mu \cdot N \quad (4)$$

Dimana :

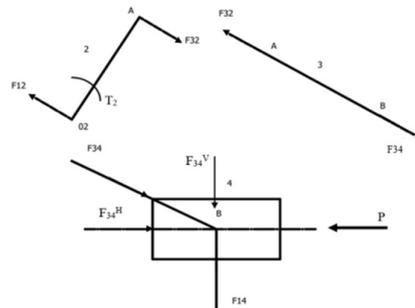
- f = Gaya gesek ( N )
- $\mu$  = Koefisien gesek
- N = Gaya Normal ( N )

### 2.5 Tekanan Kontak

Tekanan yang dihasilkan selama proses pembakaran juga turut berdampak pada tekanan ring piston terhadap dinding silinder. Pada mesin diesel, tekanan yang dapat diberikan ring piston terhadap dinding silinder dapat mencapai 2.0 MPa, Tekanan ini sangat bergantung pada kondisi dan mekanisme di dalam ruang bakar [6].

### 2.6 Analisa Gaya Statis Pada Mekanisme Engkol Peluncur

Analisa gaya pada mekanisme dapat diselesaikan dengan menerapkan persamaan-persamaan keseimbangan apabila jumlah dari yang tidak diketahui tidak lebih dari tiga, namun bila pada suatu badan tunggal terdapat lebih dari tiga jumlah yang tidak diketahui maka harus diperoleh informasi tambahan di tempat lain dengan melihat pada batang lain [7]. Tahap awal dalam analisa gaya statis pada mekanisme engkol peluncur ialah dengan membuat diagram benda bebas. Berikut ialah diagram benda bebas pada mekanisme engkol peluncur :



Gambar 1 Diagram Benda Bebas Engkol Peluncur

### 2.7 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga ialah sebuah metode yang umum digunakan untuk menyelesaikan persamaan diferensial parsial atau *Partial Differential Equation (PDE)* secara numerik dalam analisa struktur [8]. Metode ini membagi kontinum menjadi pecahan – pecahan kecil yang lebih mudah dikelola. Pecahan – pecahan kecil ini disebut sebagai elemen. Dengan demikian solusi pada tiap bagian kecil dapat dinyatakan dalam fungsi yang jauh lebih

sederhana dari pada fungsi untuk keseluruhannya. Elemen tadi secara matematis dihubungkan satu sama lain dengan kondisi sedemikian sehingga kompatibel dan berkesinambungan antar satu elemen dengan yang lainnya [9].

### 2.8 Profil Cylinder liner

Cylinder liner umumnya terbuat dari bahan besi cor kelabu (grey cast iron). Di bawah ini merupakan data sifat mekanik besi cor kelabu [10].

Tabel 1 Sifat Mekanik Besi Cor Kelabu

Properties	Metric
Density	6.80 – 7.34 g/cc
Poisson's Ratio	0.24 – 0.33
Elastic Modulus	62.1 – 162 GPa
Tensile Strength Ultimate	115 – 700 MPa
Elongation	1.0 – 15%
Hardness Brinell	120 - 550
Tensile Yield Strength	65.5-420 MPa
Izod	5.42 – 54.2 J
Compressive Yield Strength	1380 MPa

### 2.9 Profil Ring Piston

Umumnya ring piston terbuat dari bahan besi cor nodular. di bawah ini ialah data sifat mekanik besi cor nodular [11].

Tabel 2 Sifat Mekanik Besi Cor Nodular

Properties	Metric
Density	6.64 – 7.42 g/cc
Poisson's Ratio	0.25 – 0.37
Elastic Modulus	63.0 – 172 GPa
Tensile Strength Ultimate	345 – 1650 MPa
Elongation	0.2 – 40.0%
Hardness Brinell	120 - 600
Tensile Yield Strength	172-1450 MPa
Reduction of Area	2.00-10.0 %

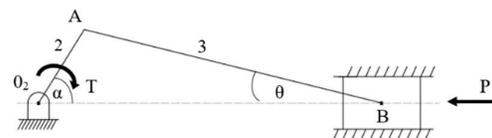
## 3. Metode Penelitian

### 3.1 Perhitungan Pembebanan

Geometri yang akan dianalisis pada simulasi ini mengambil referensi dari mesin diesel dengan kapasitas 2286 cc. Di bawah ini merupakan data mengenai mesin tersebut :

1. Diameter × Langkah : 91.1 × 95 mm
2. Volume langkah : 2286 cc
3. Daya maksimum : 97.8 dk/3500 rpm
4. Torsi maksimum : 200 Nm/1000 rpm

Pendekatan analisa gaya statis dilakukan sesuai dengan mekanisme engkol peluncur seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah



Gambar 2 Mekanisme Engkol Peluncur

Pada analisa ini dikondisikan mekanisme tersebut mengalami beban torsi sebesar 200 Nm dan massa tiap komponen diabaikan

$$T_2 = F_{32} \times O_2A \quad (5)$$

Dimana :

$T_2$  = Torsi yang bekerja

$F_{32}$  = Gaya yang bekerja pada body 2

$O_2A$  = Panjang batang 2

Berikut ialah data mengenai dimensi tiap body pada mekanisme berdasarkan geometri yang akan disimulasikan :

$$O_2 - G_2 : 23.5 \text{ mm}$$

$$O_2 - A : 47 \text{ mm}$$

$$A - G_3 : 83.5 \text{ mm}$$

$$A - B : 167 \text{ mm}$$

maka besar gaya yang bekerja pada *body 2* ialah sebagai berikut :

$$T_2 = F_{32} \times 0.2A$$

$$200 = F_{32} \times 47$$

$$F_{32} = \frac{200}{47}$$

$$F_{32} = \frac{200}{0.047}$$

$$F_{32} = 4255.32 \text{ N}$$

Berdasarkan gaya yang bekerja pada *body 2* maka gaya yang bekerja pada *body 3* dan *4* dapat ditentukan menggunakan persamaan keseimbangan. Berikut ialah gaya yang bekerja pada *body 3* dan *4* :

$$F_{23} = - F_{32}$$

$$F_{23} = - 4255.32$$

$$F_{34} = F_{32}$$

$$F_{34} = 4255.32$$

$$F_{43} = - F_{34}$$

$$F_{43} = - 4255.32$$

Setelah didapatkan besar gaya yang bekerja pada tiap *body*, maka dapat ditentukan gaya tekan ring piston pada dinding *cylinder liner* dengan menggunakan persamaan berikut :

$$F_{34H} = \text{Cos } \theta \times F_{34} \text{ dan } F_{34V} = \text{Sin } \theta \times F_{34} \quad (6)$$

Berdasarkan persamaan di atas, dengan mengasumsikan besar sudut  $\theta$  yang mungkin terjadi yaitu dari 0 sampai dengan maksimum  $30^\circ$  maka gaya maksimum yang dialami *body 4* akibat gaya pada *body 3* ialah sebesar 2127.66 N. Dengan mengetahui besar gaya yang bekerja pada *body 4*, maka dapat ditentukan besar tekanan ring piston pada dinding *cylinder liner*. Tekanan tersebut dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut :

$$P = \frac{F_{34V}}{(D \times t) \times 2} \quad (7)$$

Dimana :

P = Tekanan pada ring piston

$F_{34V}$  = Gaya yang bekerja pada *body 4* arah vertikal

D = Diameter *ring piston*

t = tebal *ring piston*

Berdasarkan persamaan di atas maka besar tekanan *ring piston* pada dinding *cylinder liner* ialah sebagai berikut :

$$P = \frac{F_{34V}}{(D \times t) \times 2}$$

$$P = \frac{2127.66}{(0.0911 \times 0.002) \times 2}$$

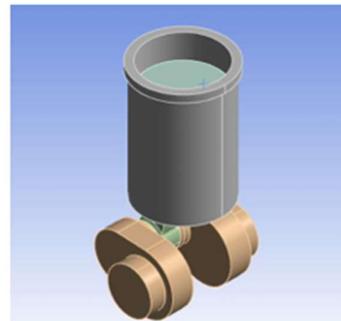
$$P = 5838800 \text{ N/m}^2$$

$$P = 5.8388 \text{ MPa}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, diketahui bahwa tekanan ring piston pada dinding *cylinder liner* ialah sebesar 5.8388 mPa. Tekanan tersebut kemudian akan dibagi dua untuk setiap ring piston sehingga tekanan per ring piston ialah 2.9194 dikombinasikan dengan tekanan kontak pada penelitian ini yaitu 2 MPa sehingga tekanan yang akan diaplikasikan ke dalam simulasi ANSYS ialah sebesar 4.9194 MPa

### 3.2 Prosedur Simulasi

Simulasi diawali dengan membuat model geometri yang akan disimulasikan. Model geometri tersebut dibuat menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor 2022. Di bawah ini ialah geometri yang akan disimulasikan

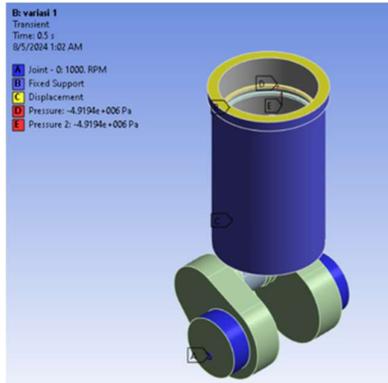


Gambar 3 Geometri yang Hendak Disimulasikan

Geometri yang telah dibuat kemudian akan di-input ke dalam perangkat lunak Ansys Workbench. Geometri tersebut akan diberikan beban sesuai dengan batasan masalah yang telah ditentukan. Penelitian ini akan menggunakan analisa transient structural. Berikut ialah langkah-langkah yang diterapkan pada penelitian ini

1. Export geometri yang telah dibuat ke dalam format "step" agar dapat dibaca pada perangkat lunak Ansys Workbench.

2. Buka perangkat lunak Ansys Workbench R2 2021
3. Masuk ke pilihan simulasi transient structural.
4. Masukkan sifat mekanik dari geometri yang akan disimulasikan.
5. Masukkan Geometri yang akan disimulasikan
6. Aplikasikan kondisi batas seperti tekanan, koefisien gesek, putaran pada *crankshaft* dan tumpuan.



Gambar 4 Kondisi Batas yang Akan Diterapkan

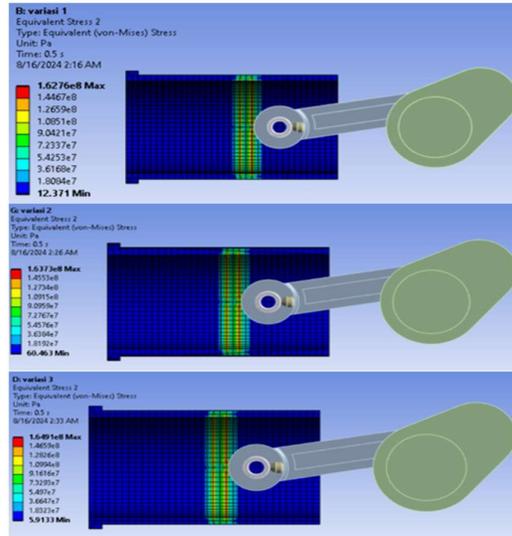
7. Kemudian lakukan *meshing* dengan metode *hex-dominant*. Kualitas *meshing* yang hendak dicapai ialah *excellent* pada standar *skewness* dengan rentang nilai di bawah 0.25.
8. Lalu pilih solusi yang hendak diketahui dari proses simulasi.
9. Setelah hasil didapat akan dilakukan analisa guna mengambil kesimpulan.

#### 4. Hasil Dan Pembahasan

Di bawah ini ialah hasil *transient structural*. Hasil yang didapat ialah *equivalent stress*, *equivalent strain*, *total deformation*.

Tabel 3 Tegangan Von Mises

Equivalent Von Mises Stress (Mpa)		
no	koefisien gesek	pembebanan
		tekanan : 2MPa kecepatan : 1000 rpm
1	0.08	162.76
2	0.1	163.73
3	0.12	164.91

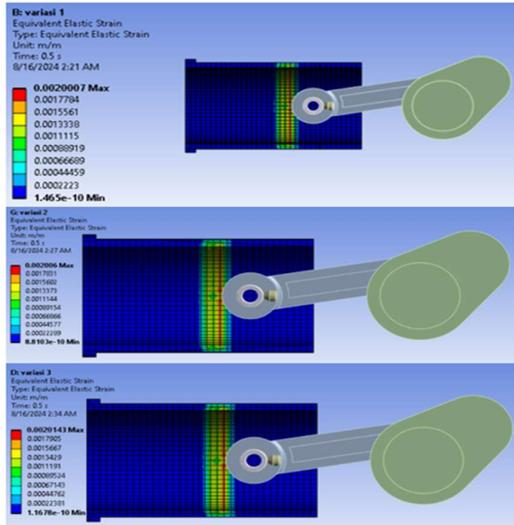


Gambar 5 Kontur Tegangan pada *Cylinder Liner*

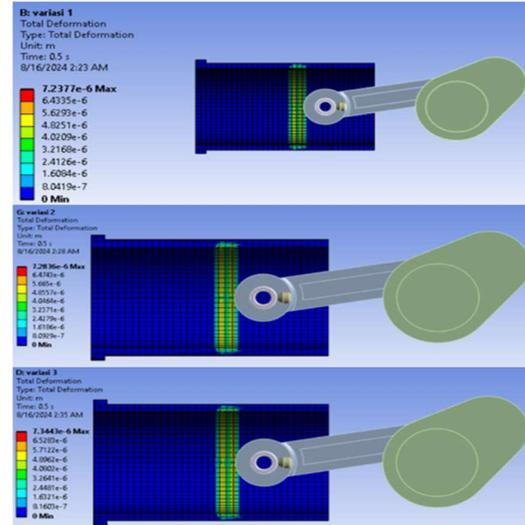
Gambar di atas ialah gambar mengenai kontur tegangan yang terjadi pada *cylinder liner* sebagai akibat adanya pembebanan. Warna merah menunjukkan bagian *cylinder liner* yang mengalami tegangan maksimum sedangkan warna biru menunjukkan bagian yang mengalami tegangan minimum Berdasarkan hasil simulasi dapat dilihat pada tabel terjadi kenaikan nilai tegangan sebagai akibat kenaikan nilai koefisien gesek. Pada koefisien gesek 0.08 tegangan yang terjadi ialah 162.76 MPa kemudian pada koefisien gesek 0.1 tegangan meningkat menjadi 163.73 MPa dan terakhir pada koefisien 0.12 tegangan meningkat menjadi 164.91 MPa. Tegangan tertinggi terjadi pada bagian yang tengah mengalami kontak dengan *ring piston*.

Tabel 4 Regangan Von Mises

Equivalent Von Mises Strain (m/m)		
no	koefisien gesek	pembebanan
		tekanan : 2MPa kecepatan : 1000 rpm
1	0.08	0.0020007
2	0.1	0.002006
3	0.12	0.0020143



Gambar 6 Kontur Regangan pada Cylinder Liner



Gambar 7 Kontur Deformasi pada Cylinder Liner

Gambar di atas ialah gambar mengenai kontur regangan yang terjadi pada cylinder liner sebagai akibat adanya pembebanan. Warna merah menunjukkan bagian cylinder liner yang mengalami regangan maksimum sedangkan warna biru menunjukkan bagian yang mengalami regangan minimum Berdasarkan hasil simulasi dapat dilihat pada tabel terjadi kenaikan nilai regangan sebagai akibat kenaikan nilai koefisien gesek. Pada koefisien gesek 0.08 regangan yang terjadi ialah 0.0020007 m/m kemudian pada koefisien gesek 0.1 regangan meningkat menjadi 0.002006 m/m dan terakhir pada koefisien 0.12 regangan meningkat menjadi 0.0020143m/m. Regangan tertinggi terjadi pada bagian yang tengah mengalami kontak dengan ring piston.

Gambar di atas ialah gambar mengenai kontur deformasi yang terjadi pada cylinder liner sebagai akibat adanya pembebanan. Warna merah menunjukkan bagian cylinder liner yang mengalami deformasi maksimum sedangkan warna biru menunjukkan bagian yang mengalami deformasi minimum Berdasarkan hasil simulasi dapat dilihat pada tabel terjadi kenaikan nilai deformasi sebagai akibat kenaikan nilai koefisien gesek. Pada koefisien gesek 0.08 regangan yang terjadi ialah 0.0072377 m kemudian pada koefisien gesek 0.1 regangan meningkat menjadi 0.0072836 m dan terakhir pada koefisien 0.12 regangan meningkat menjadi 0.0073443 m. Deformasi tertinggi terjadi pada bagian yang tengah mengalami kontak dengan ring piston.

Tabel 5 Total Deformasi

Total Deformasi (mm)		
no	koefisien gesek	pembebanan
		tekanan : 2MPa kecepatan : 1000 rpm
1	0.08	0.0072377
2	0.1	0.0072836
3	0.12	0.0073443

## 5. Simpulan

Berdasarkan hasil simulasi dapat dilihat bahwa terjadi kenaikan nilai tegangan, regangan, dan deformasi yang dialami oleh *cylinder liner*. Hal ini memungkinkan karena terjadi peningkatan nilai koefisien gesek. Peningkatan nilai koefisien ini berdampak pada peningkatan gaya gesek sehingga pembebanan yang dialami oleh ring piston pun ikut meningkat.

Besar nilai tegangan yang terjadi pada *cylinder liner* sebagai akibat kenaikan nilai koefisien gesek masih berada di bawah nilai *tensile yield strength*. Seperti tertera pada data sifat mekanik bahwa nilai *tensile yield strength* besi cor kelabu ialah 242.75 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa kenaikan nilai koefisien gesek tidak menyebabkan kegagalan pada *cylinder liner*. Nilai deformasi juga menunjukkan bahwa deformasi yang terjadi pada *cylinder liner* tergolong kecil bahkan mendekati nol.

**Daftar Pustaka**

- [1] Widiyarta, I. M., & Adiatmika, I. K. 2012. *Keausan Cylinder Liner Akibat Beban Kontak Luncur Ring Piston*. Universitas Udayana. Jimbaran
- [2] Tjahjono, T. *Analisis Keausan Pada Dinding Silinder Mesin Diesel*. Media Mesin: Majalah Teknik Mesin, 6(2), 78–83. <https://doi.org/10.23917/mesin.v6i2.2894>
- [3] Gere, J. M., & Timoshenko, S. P. 2000. *Mekanika Bahan Jilid 1 Edisi 4*. In Erlangga. Jakarta
- [4] Ichlas Imran, A. 2017. *Simulasi Tegangan Von Mises Dan Analisa Safety Factor Gantry Crane Kapasitas 3 Ton*. Dinamika, 8(2).
- [5] Khafidh, M., & Jamari, D. 2012. *Analisa Karakteristik Minyak Pelumas Pertamina Meditran Sx Sae 15w-40 Menggunakan Tribometer Pin-On-Ring*. (Doctoral Dissertation, Mechanical Engineering Departement, Faculty Engineering Of Diponegoro University).
- [6] Yamagata, H. 2005. *The Science And Technology Of Materials In Automotive Engines*. Elsevier Science
- [7] Gasni, D. 2007. *Karakteristik Mesin Pemotong Ubi Talas Dengan Mekanisme Engkol Peluncur*. , 2(27), 62–68.
- [8] Jokosisworo, S., & Sebastian, J. 2012. *Analisa Fatigue Kekuatan Stern Ramp Door Akibat Beban Dinamis Pada Km. Kirana I Dengan Metode Elemen Hingga Diskrit Elemen Segitiga Plane Stress*. Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Kelautan, 8(3), 119–125. <https://doi.org/10.14710/kpl.v8i3.3185>
- [9] Hadipratomo, W. 2005. *Dasar-Dasar Metode Elemen Hingga*. Danamartha Sejahtera Utama. Bandung
- [10] MatWeb. 2015. *Overview of Materials for Gray Cast Iron*. <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=f3cd25980ab24fdaa5893252cd2bc192>  
(Diakses : 8 Agustus 2024, 14.15)
- [11] MatWeb. 2024. *Overview of Materials for Ductile Iron*. <https://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=9d44544b44a44addaae133fb3ae3fcf9>  
(Diakses : 8 Agustus 2024, 14.30)



**Zerry Hansnico Christian Mausi Nababan**

Menyelesaikan studi program sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2019 sampai 2024

Bidang penelitian yang diminati yaitu Rekayasa Manufaktur.