

ISSN 2302 – 5182



TEKNIK DESAIN MEKANIKA

Jurnal Ilmiah Teknik Mesin

Volume 12 • Nomor 4 • OKTOBER • 2023 • Hal. 301 - 381

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 12

Nomor 4

Hal. 301-381

Badung, Oktober 2023

ISSN 2302-5182

**TEKNIK DESAIN
MEKANIKA**
Jurnal Ilmiah Teknik Mesin



Volume 12, Nomor 4, Oktober 2023, Hal. 301 – 381

Penanggung Jawab

Koordinator Program Studi Teknik Mesin UNUD

Ketua Dewan Redaksi

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

Redaksi Pelaksana/Tim Validasi

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

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

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

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

Dr. Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati, S.T., M.Si.

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.

Editor Ahli

Dosen-dosen di Program Studi Teknik Mesin
Universitas Udayana

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

Alamat Redaksi

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Udayana

Kampus Bukit Jimbaran, Badung, Bali 80362

Telp. / Fax.: 62 361 703321

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

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

Kata Pengantar

Puji syukur tercurahkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas terbitnya Jurnal Ilmiah Teknik Mesin – TEKNIK DESAIN MEKANIKA, Universitas Udayana volume 12 Nomor 4, Oktober 2023 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 12 Nomor 4 ini, disajikan 16 artikel, dalam berbagai topik meliputi komposit, insinerator, *cooling*, simulasi, kendaraan listrik, material, karbon aktif dan biogas.

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 12 • Nomor 4 • Oktober 2023 • Hal. 301 – 381

Daftar Isi

Pengaruh Alkalisasi Terhadap Kekuatan Impak Komposit Epoxy Berpenguat Serat Sisal I Made Sukadana, I Putu Lokantara, I Gede Putu Agus Suryawan dan Ni Made Dwidiani	301-306
Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Laju Udara Terhadap Kebutuhan Bakar Insinerator Limbah Medis Dual Chamber I Gede Riski Ananta, I Nyoman Suprapta Winaya, I Wayan Arya Darma dan I Putu Angga Yuda	307-310
Analisa Laju Konsumsi Bahan Bakar Gas LPG pada Insinerator Limbah Medis Dual Chamber dengan Variasi Durasi Waktu Injeksi Oksigen I Ketut Sakya Sanatana, I Nyoman Suprapta Winaya, I Wayan Arya Darma, I Putu Angga Yuda Pratama, dan I Gusti Ngurah Putu Tenaya	311-315
Kajian Analitis Kebutuhan Bahan Bakar Gas Insinerator Limbah Medis Dual Chamber Dengan Variasi Temperatur Pada Chamber Kedua I Made Pujanu Ary Shantika, I Nyoman Suprapta Winaya, I Wayan Arya Darma, dan I Putu Angga Yuda Pratama	316-320
Analisa Temperatur Pemotongan Pada Pembubutan AISI 304 Menggunakan Cairan Pendingin Virgin Coconut Oil (VCO) Dengan Metode Minimum Quantity Lubrication (MQL) Made Aksamanika Putra, Tjokorda Gde Tirta Nindhia, dan I Gusti Komang Dwijana	321-324
Kajian Kebutuhan Bahan Bakar Gas Pada Insinerator Limbah Medis Dual Chamber Dengan Variasi Laju Volume Injeksi Oksigen Dan Penambahan Injeksi Air Nyoman Sadhu Waskita, I Nyoman Suprapta Winaya, I Wayan Arya Darma, I Putu Angga Yuda Pratama	325-328
Simulasi Penggunaan Rounding Front Hood Kendaraan Terhadap Pola Aliran Dan Distribusi Koefisien Tekanan Pada Upperside Kendaraan Model Pajar Doli Soripada Marbun, Anak Agung Adhi Suryawan, I Made Gatot Karohika	329-333
Analisis Pengaruh Temperatur Tuang Dan Ukuran Butiran Pasir Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Hasil Cor Kuningan Pada Pengecoran Evaporative I Putu Predi Apriadi, I Ketut Gede Sugita, dan Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati	334-340
Analisis Konsumsi Daya Skuter Listrik Magneto Diuji Pada Jalan Mendatar Dan Menanjak Akibat Diberikan Pembebanan Rizal Leo Mahendra, Wayan Nata Septiadi, I Gusti Ketut Sukadana	341-347
Pengaruh Variasi Ukuran Butir Pasir Cetak Terhadap Kekuatan Impact Dan Morfologi Patahan Hasil Coran Kuningan Pada Pengecoran Evaporative Putu Nanta Pasek Eka Putra, I Ketut Gede Sugita, dan Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati	348-353

Kaji Eksperimental Penyimpanan Biogas Dengan Adsorben Karbon Aktif Komersial Dewa Made Antara Putra, Made Sucipta dan Hendra Wijaksana	354-357
Studi Eksperimental Pengaruh Karbon Aktif Terhadap Penyimpanan Biogas Epenetus Rapael, Made Sucipta, dan Hendra Wijaksana	358-361
Penggunaan Karbon Aktif Bambu Apus Sebagai Media Penyimpanan Biogas I Gede Krisna Pratama, Made Sucipta., dan Hendra Wijaksana	362-365
Pengaruh Variasi Kecepatan Sepeda Motor Listrik Terhadap Konsumsi Daya Baterai I Gusti Ngurah Agung Ananta Maha Putra, Wayan Nata Septiadi dan I Wayan Bandem Adnyana	366-370
Analisa Kebutuhan Bahan Bakar Gas LPG Untuk Insinerator Limbah Medis Dual Chamber Oxy-Fuel Dengan Variasi Laju Volume Air Yang Diinjeksikan I Made Pasek Purnama, I Nyoman Suprpta Winaya, I Wayan Arya Darma, dan I Putu Angga Yuda Pratama	371-375
Analisis Distribusi Beban Velg Sepeda Motor Listrik Dengan Variasi Motif <i>Spoke</i> Menggunakan Metode Elemen Hingga Putra Kurnia Illahi, I Made Gatot Karohika, I Made Parwata	376-381

Pengaruh Alkalisasi Terhadap Kekuatan Impak Komposit Epoxy Berpenguat Serat Sisal

I Made Sukadana, I Putu Lokantara, I Gede Putu Agus Suryawan dan Ni Made Dwidiani

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh alkalisasi terhadap kekuatan impak pada komposit epoxy berpenguat serat sisal yang dicetak menggunakan metode Hand Lay-Up dengan orientasi serat acak. Matriks yang digunakan adalah epoxy sikadur 52-id dengan menggunakan fraksi volume serat 30%. Setelah dilakukan pengujian, kekuatan impak meningkat sebesar 32,06% pada komposit epoxy berpenguat serat sisal yang telah diberi perlakuan dibandingkan dengan komposit serat sisal tanpa perlakuan. Kekuatan impak pada spesimen yang diberi perlakuan alkali diperoleh sebesar 0,0233 J/mm², sedangkan pada komposit epoxy dengan serat sisal tanpa perlakuan memiliki kekuatan impak sebesar 0,0176/mm². Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa perlakuan alkali memberi pengaruh peningkatan kekuatan impak pada komposit serat sisal yang disebabkan oleh terbentuknya ikatan yang lebih baik akibat pengurangan lapisan lignin pada serat sehingga massa jenis serat sisal meningkat 42,32% setelah diberi perlakuan dan menghasilkan struktur serat yang lebih kompak dibandingkan dengan serat tanpa perlakuan alkali.

Kata Kunci : Komposit, Serat Alam, Serat Sisal, NaOH, Hand Lay-Up, Kekuatan Impak

Abstract

This study aims to determine the effect of alkali treatment on impact strength of sisal fiber reinforced epoxy composites printed using the Hand Lay-Up method with random fiber orientation. The matrix used was 52-id epoxy sikadur using a 30% fiber volume fraction. After testing, the impact strength increased by 32.06% in treated sisal fiber reinforced epoxy composites compared to untreated sisal fiber composites. The impact strength of the specimens treated with alkali was 0.0233 J/mm², while the epoxy composite with untreated sisal fiber had an impact strength of 0.0176/mm². Based on these results, it can be concluded that the alkali treatment had an effect on increasing the impact strength of the sisal fiber composites due to the formation of better bonds due to a reduction in the lignin layer on the fibers so that the density of sisal fiber increased by 42.32% after being treated and resulted in a better fiber structure. compact compared to fibers without alkali treatment..

Keywords: Composite, Natural Fiber, Sisal Fiber, NaOH, Hand Lay-Up, Impact Strength

1. Pendahuluan

Penelitian dalam dunia industri terus dilakukan oleh para peneliti untuk menghasilkan produk yang kuat dan ringan dengan melakukan inovasi dari yang telah ada sebelumnya [1]. Hal tersebut memberikan dampak pada dunia industri khususnya pada bidang otomotif, dimana saat ini sedang mengalami perkembangan yang sangat pesat. Kendaraan yang dulunya masih menggunakan bahan bakar minyak sekarang sudah mulai tergantikan dengan kendaraan listrik. Kendaraan listrik sendiri memerlukan material yang kuat dengan bobot ringan untuk menghemat daya baterai yang digunakan. Jika kendaraan listrik sepenuhnya menggunakan bahan logam seperti pada kendaraan konvensional, maka kendaraan listrik akan menjadi boros karena memiliki bobot yang berat. Material alternatif pengganti logam yang memiliki sifat fisik dan mekanis yang baik serta bobot ringan adalah komposit [2]. Salah satu komponen mobil yang dapat dibuat dari komposit adalah bumper yang berfungsi menerima beban impak saat terjadi

kecelakaan untuk mencegah kerusakan pada kap mobil, lampu dan sistem pendingin (radiator). Saat terjadi tabrakan, energi impak langsung disalurkan keseluruh mobil karena bumper terhubung langsung pada rangka kendaraan [3].

Bahan yang sering digunakan dalam membentuk komposit adalah resin. Resin epoxy memiliki kekuatan yang tinggi dan daya rekat yang kuat sehingga banyak digunakan sebagai pengikat pada suatu material komposit. Disamping itu, epoxy juga memiliki ketahanan yang baik terhadap bahan kimia serta penyusutan yang rendah [4].

Komponen penyusun komposit yang dapat menentukan kekuatan, kekerasan serta sifat-sifat fisik lainnya pada material komposit adalah serat alam. Penelitian tentang serat alam seperti serat sisal, jerami padi, sabut kelapa, tapis kelapa, jute serta serat alam lainnya sebagai penguat komposit akhir-akhir ini mengalami perkembangan yang sangat pesat karena dapat terdegradasi secara alami dan sangat ramah lingkungan. Selain itu, serat alam juga memiliki harga yang relatif murah dari

serat sintesis [5]. Salah satu serat alam yang mudah diperoleh dan ketersediaannya melimpah adalah serat sisal (*Agave Sisalana*). Serat sisal memiliki kekuatan mekanik dan kekakuan yang sangat baik, fleksibilitas, ketahanan terhadap lingkungan asam, serta ketersediaan yang melimpah menjadikan serat sisal digunakan sebagai bahan pengembangan dan penggunaan komposit [6].

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh alkalisasi terhadap kekuatan impak komposit epoxy berpeguat serat sisal. Permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini yaitu bagaimana pengaruh perlakuan alkali terhadap kekuatan impak pada komposit epoxy berpeguat serat sisal. Adapun batasan masalah yang diperlukan dalam penelitian ini untuk mendapatkan hasil yang diinginkan yaitu :

1. Panjang serat sisal 1 cm dengan orientasi acak.
2. Perlakuan serat menggunakan NaOH 5% selama 2 jam.
3. Pembuatan komposit menggunakan metode *Hand Lay-Up*.
4. Pengujian Impak mengacu pada ASTM D-6110.

2. Dasar Teori

2.1 Komposit

Komposit berasal dari kata "to compose" yang memiliki arti menggabungkan atau menyusun. Jadi, komposit dapat didefinisikan sebagai suatu material yang diperoleh dari kombinasi dua bahan atau lebih melalui campuran tidak homogen yang memiliki sifat mekanik berbeda dari setiap bahan penyusunnya [7]. Dari kombinasi tersebut didapatkan material komposit yang memiliki karakteristik dan sifat mekanik yang berbeda dari bahan pembentuknya. Komposit ini merupakan gabungan antara matriks atau pengikat dengan penguat. Komposit dapat diklasifikasi menjadi 3 bagian berdasarkan jenis penguatnya, yaitu komposit serat, komposit partikel, komposit struktur.

2.2 Matriks

Matrik merupakan salah satu bahan penyusun komposit untuk mengikat dan melindungi serat yang digunakan dalam pembuatan komposit. Sebagai bahan penyusun utama pada komposit, matrik yang digunakan harus mampu mengikat serat secara optimal agar serat dapat meneruskan beban yang diterima secara optimal sehingga kekakuan yang tinggi dapat diperoleh. Terdapat beberapa jenis matrik yang umum digunakan, yaitu matrik polimer, keramik dan logam. Tetapi yang paling sering digunakan adalah matrik polimer.

Matrik polimer terdiri dari dua jenis yaitu thermoplastic dan thermosetting [8]. Dalam penelitian ini, penulis menggunakan matrik thermosetting yaitu Epoxy sikadur 52-id sebagai pengikatnya.



Gambar 1 Resin Epoxy

2.3 Serat Sisal

Sisal adalah tanaman yang dapat menghasilkan serat dengan keunggulan serat yang kuat, dapat diperbaharui dan ramah lingkungan. Negara penghasil sisal terbesar di dunia adalah Brazil, China, Kenya, Indonesia dan Thailand [9].

Serat sisal biasanya digunakan untuk membuat karpet, tali, dan kerajinan. Normalnya, selambar daun sisal dengan berat 600 gr mampu menghasilkan 3% atau 1000 helai serat dengan diameter 100-300 mm dan panjang berkisar antara 1-1,5 m [10].



Gambar 2 Serat Sisal

3. Metode Penelitian

Alat-alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

3.1 Alat

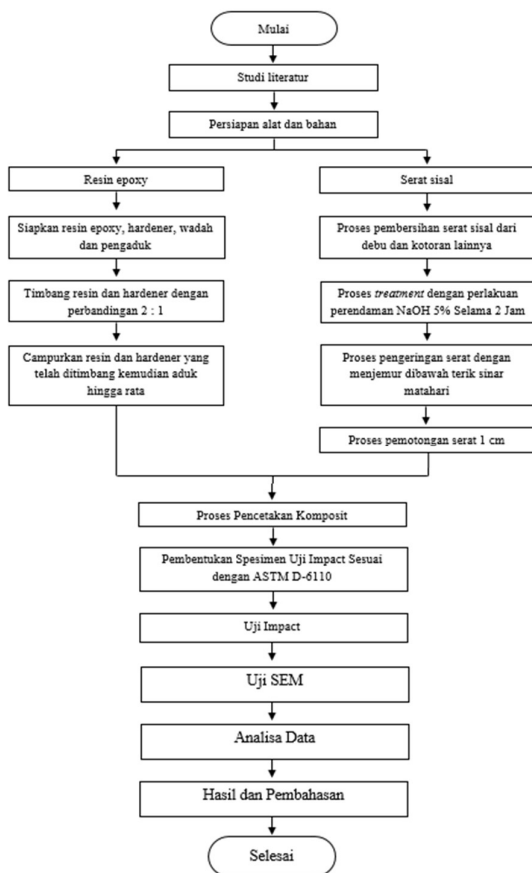
1. Ember untuk merendam dan pembilasan serat.
2. Gunting untuk memotong serat.
3. Piknometer untuk mencari densitas serat sisal.
4. Timbangan digital.
5. Kapi untuk membuka cetakan.
6. Gergaji besi untuk memotong spesimen.
7. Alat uji *impact* dan uji SEM.

3.2 Bahan



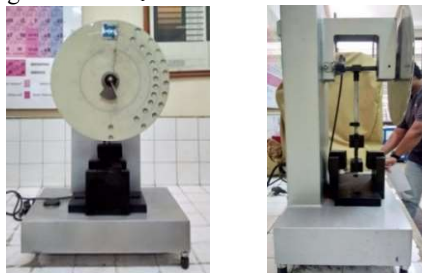
Bahan yang digunakan yaitu resin epoxy sikadur 52-id, serat sisal, dan NaOH untuk perlakuan serat.

3.3 Diagram Alir Proses Penelitian

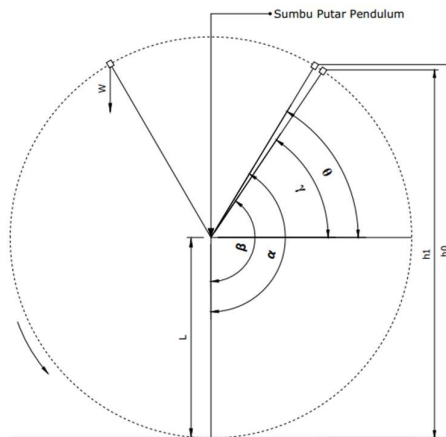


3.4 Uji Impact

Pengujian impact merupakan salah satu pengujian yang bertujuan untuk mengetahui kemampuan material menyerap energi yang diberikan. Uji impact dilakukan dengan memberikan pembebanan kejut (*flexural shock*) kepada benda uji hingga benda tersebut mengalami keretakan, patah, cacat permanen atau rusak pada tingkat pembebanan tertentu. Energi potensial pendulum yang dilepaskan tanpa adanya spesimen pada alat uji adalah E_0 , sedangkan setelah spesimen diletakkan pada alat uji dan terjadi patah, pendulum akan terus berayun pada ketinggian yang lebih rendah menghasilkan E_1 .



Gambar 4 Alat Uji Impact



Gambar 5 Skema Uji Impact

Keterangan :

- W = Berat pendulum (N)
- h_0 = Tinggi pendulum yang dihasilkan tanpa spesimen (m)
- h_1 = Tinggi pendulum yang dihasilkan setelah ada spesimen (m)
- L = Panjang lengan pendulum (m)
- α = Sudut awal
- β = Sudut akhir
- $\theta = \alpha - 90^\circ$
- $\gamma = \beta - 90^\circ$

Energi yang diserap oleh material setelah melakukan pengujian impact dapat dihitung dengan rumus :

$$E_0 = W \cdot h_0 = W \cdot (L + L \sin \theta) \dots\dots\dots(1)$$

$$E_1 = W \cdot h_1 = W \cdot (L + L \sin \gamma) \dots\dots\dots(2)$$

$$\Delta E = E_0 - E_1 = W \cdot h_0 - W \cdot h_1 = W \cdot L (\sin \theta - \sin \gamma) \dots\dots(3)$$

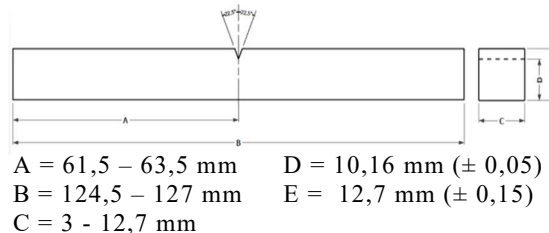
Jika luas penampang benda uji adalah A (mm^2), maka dapat dihitung kekuatan impact yang didapatkan dengan rumus :

$$Is = \frac{\Delta E}{A} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan :

- ΔE = Energi yang diserap (J)
- A = Luas penampang (mm^2)

Spesimen uji impact dibentuk sesuai dengan ukuran pada ASTM D-6110.



Gambar 6 Ukuran Spesimen Uji Impact

4. Hasil dan Pembahasan

4.4 Pengukuran Massa Jenis Serat

Massa jenis serat diukur dengan pengulangan sebanyak 3 kali menggunakan piknometer kemudian hasilnya dirata-ratakan untuk mendapatkan hasil pengukuran yang lebih baik. Massa jenis serat dapat dihitung menggunakan persamaan 5 :

$$\rho = \frac{(m_2 - m_1) \times \rho_l}{(m_3 - m_1) - (m_4 - m_2)} \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan :

- m_1 = Massa piknometer
- m_2 = Massa piknometer + serat
- m_3 = Massa piknometer + methanol
- m_4 = Massa piknometer + metanol + serat
- ρ_l = Massa jenis methanol



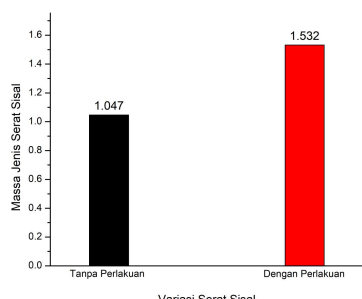
Gambar 7 Pengukuran Massa Jenis Serat

Table 1 Data Hasil Perhitungan Massa Jenis

Data	Percobaan	Massa Jenis (gram/cm ³)
Serat Tanpa Perlakuan	1	1,049
	2	1,039
	3	1,054
Rata-rata		1,047

Table 2 Data Hasil Perhitungan Massa Jenis

Data	Percobaan	Massa Jenis (gram/cm ³)
Serat Dengan Perlakuan	1	1,534
	2	1,553
	3	1,508
Rata-rata		1,532



Gambar 8 Grafik Perbandingan Massa jenis Serat Sisal

Pada gambar 8, dapat diamati bahwa massa jenis serat sisal yang diberi perlakuan meningkat sebesar 42,32% dibandingkan dengan serat tanpa perlakuan. Hal ini dikarenakan serat yang telah diberi perlakuan menjadi lebih kompak akibat larutnya unsur-unsur seperti lignin, hemiselulosa, dan zat ekstraktif lainnya, sehingga persentase unsur selulosa didalam serat menjadi lebih banyak.

4.5 Perhitungan Volume Cetakan

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

$$= 15 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} \times 0,3 \text{ cm} = 22,5 \text{ cm}^3$$

4.6 Perhitungan Volume Serat 30% dan Matriks 70%

$$V_s = 30\% \times 22,5 = 6,75 \text{ cm}^3$$

$$V_m = 70\% \times 22,5 = 15,75 \text{ cm}^3$$

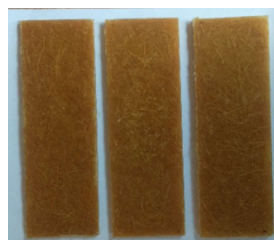
4.7 Perhitungan Massa Serat 30% dan Matriks 70%

$$V = \frac{m}{\rho_s} \rightarrow m = V \times \rho$$

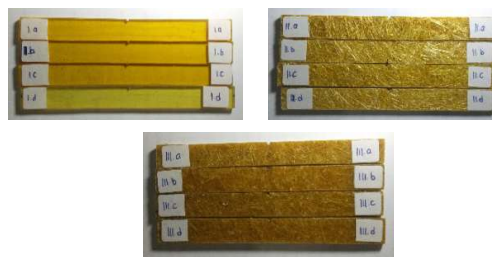
- Serat tanpa perlakuan
 $m_s = 6,75 \times 1,047 = 7,067 \text{ gr}$
- Serat dengan perlakuan
 $m_s = 6,75 \times 1,532 = 10,334 \text{ gr}$
- Matriks
 $m_m = 15,75 \times 1,08 = 17,01 \text{ gr}$

4.8 Hasil Pencetakan Komposit

Setelah mengetahui massa jenis serat sisal dan menghitung fraksi volume serat dan matriks, maka langkah selanjutnya adalah melakukan pencetakan komposit.



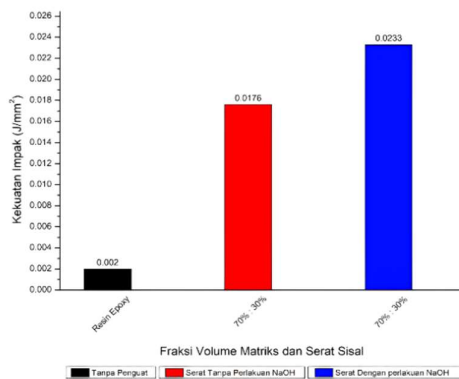
Gambar 9 Hasil Pencetakan Spesimen



Gambar 10 Hasil Pemotongan Spesimen Uji

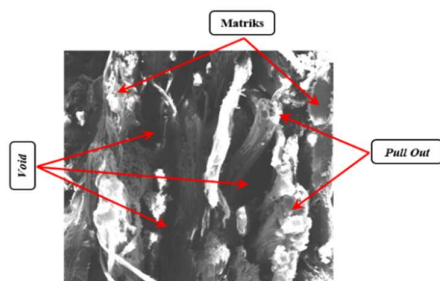
4.6 Data Hasil Pengujian

Data hasil pengujian *impact* dihitung menggunakan rumus 1 – 4 kemudian dibuatkan grafik seperti pada gambar 11.

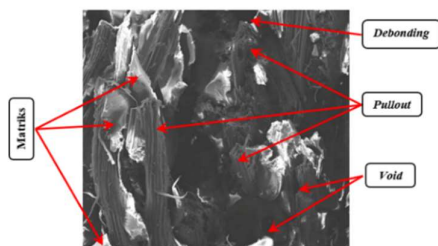


Gambar 11 Grafik Hubungan Perlakuan NaOH Pada Serat Sisal Terhadap Kekuatan Impak

Berdasarkan grafik diatas, dapat dilihat bahwa kekuatan impact pada resin epoxy didapatkan sebesar 0,0020 J/mm². Kekuatan impact tertinggi diperoleh pada komposit serat sisal yang diberi perlakuan dengan kekuatan impact sebesar 0,0233 J/mm². Sedangkan pada komposit serat sisal tanpa perlakuan diperoleh sebesar 0,0176 J/mm². Kekuatan impact yang lebih besar pada komposit serat yang telah diberi perlakuan didapatkan karena terjadinya ikatan antarmuka serat dan matriks yang baik sehingga spesimen dapat menerima beban yang lebih tinggi dan dapat meningkatkan nilai kekuatan impact. Hal ini juga diperkuat dengan hasil pengujian SEM yang menunjukkan ikatan antarmuka serat dan matriks seperti pada gambar 12 dan gambar 13.



Gambar 12 Hasil Foto SEM Komposit Serat Sisal Tanpa Perlakuan



Gambar 13 Hasil Foto SEM Komposit Serat Sisal Dengan Perlakuan

Pada gambar 12 dapat dilihat bahwa hasil pengujian SEM komposit serat sisal tanpa perlakuan menunjukkan terjadinya ikatan yang tidak bagus antara matriks dengan penguat yang ditandai dengan banyaknya terjadi void dan pullout sehingga menyebabkan spesimen tersebut mudah patah. Sedangkan pada hasil pengujian SEM komposit serat sisal dengan perlakuan pada gambar 13 menunjukkan bahwa ikatan yang lebih bagus dapat dicapai setelah serat sisal diberi perlakuan NaOH. Hal ini ditandai dengan berkurangnya *pullout* dan void pada spesimen sehingga ketika spesimen diberikan beban impact, spesimen komposit mampu menerima beban yang lebih besar.

5. Kesimpulan

Serat sisal yang telah diberi perlakuan alkali memberikan peningkatan kekuatan impact pada komposit sebesar 32,06% dari serat tanpa perlakuan. Kekuatan impact pada komposit epoxy berpenguat serat sisal yang telah diberi perlakuan diperoleh sebesar 0,0233 J/mm², sedangkan pada serat tanpa perlakuan memiliki kekuatan impact sebesar 0,0176 J/mm². Peningkatan ini disebabkan karena terbentuknya ikatan yang bagus antara matriks dan serat yang telah diberi perlakuan, sehingga spesimen dapat menahan beban yang lebih tinggi dan mendapatkan kekuatan impact yang tinggi.

6. Daftar Pustaka

- [1] B. Maryanti, K. Arifin, and A. N. P. Saputro, "Karakteristik Kekuatan Impact Komposit Serbuk Serat Sabut Kelapa Dengan Variasi Fraksi Volume Serat 30%, 40% dan 50%," *Seniati*, pp. 339–343, 2019.
- [2] A. Supriyatna and Y. Solihin, "Pengembangan Komposit Epoxy Berpenguat Serat Nanas Untuk Aplikasi Interior Mobil," *Teknobiz J. Ilm. Progr. Stud. Magister Tek. Mesin*, vol. 8, no. 2, pp. 88–93, 2018, doi: 10.35814/teknobiz.v8i2.900.
- [3] R. D. W. Lubis, W. Lubis, B. Syam, and S. Gunawan, "Simulasi Respon Mekanik Komposit Busa Polimer Diperkuat Serat Tkks Dengan Variasi Konsentrasi Al₂O₃," *J. Rekayasa Mater. Manufaktur dan Energi*, vol. 3, no. 1, pp. 29–37, 2020, [Online]. Available: <http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMM> E.
- [4] D. P. H. dan Sulistijono, "Pengaruh Komposisi Phenolic Epoxy Terhadap Karakteristik Coating pada aplikasi pipa

- overhead debutanizer Diego,” *J. Tek. ITS*, vol. 1, no. 1, 2012.
- [5] M. Sulaiman and M. H. Rahmat, “Kajian Potensi Pengembangan Material Komposit Polimer Dengan Serat Alam Untuk Produk Otomotif,” *Sistem*, vol. 4, no. 1, pp. 9–15, 2018.
- [6] M. M. Mughal, M. W. Akhtar, M. M. Baloch, M. A. Memon, J. A. Syed, and J. S. Kim, “Effect of silanized sisal fiber on thermo-mechanical properties of reinforced epoxy composites,” *J. Compos. Mater.*, vol. 54, no. 15, pp. 2037–2050, 2020, doi: 10.1177/0021998319890660.
- [7] Zulmiardi, Abubakar, Meriatna, and Yudistira, “Pengaruh Fraksi Volume Terhadap Kekuatan Bending Pada Komposit Berpenguat Serat Daun Sisal Menggunakan Resin BQTN 157-EX,” vol. 1, no. Mei, pp. 56–65, 2022.
- [8] J. Jaafar, J. P. Siregar, S. Mohd Salleh, M. H. Mohd Hamdan, T. Cionita, and T. Rihayat, “Important Considerations in Manufacturing of Natural Fiber Composites: A Review,” *Int. J. Precis. Eng. Manuf. - Green Technol.*, vol. 6, no. 3, pp. 647–664, 2019, doi: 10.1007/s40684-019-00097-2.
- [9] T. Basuki and L. Verona, “Usage Of Sisal Fiber (*Agave Sisalana* L.) And Bamboo (*Bambusoideae*) To Meet The Needs Of Modern Society,” *J. Ilmu-Ilmu Pertan.*, vol. 11, no. November, 2017.
- [10] P. S. Mukherjee and K. G. Satyanarayana, “Structure and properties of some vegetable fibres - Part 1 Sisal fibre,” *J. Mater. Sci.*, vol. 19, no. 12, pp. 3925–3934, 1984, doi: 10.1007/BF00980755.



Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Laju Udara Terhadap Kebutuhan Bakar Insinerator Limbah Medis *Dual Chamber*

I Gede Riski Ananta, I Nyoman Suprpta Winaya, I Wayan Arya Darma dan I Putu Angga Yuda Pratama

Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Studi eksperimental dilakukan pada insinerator limbah medis dual chamber yang bertujuan untuk mengetahui laju konsumsi dan kebutuhan bahan bakar limbah medis dan gas dengan variasi laju udara yang telah ditentukan. Sampel yang diuji merupakan sampel limbah medis dengan berat 1 kg untuk tiap sampel. Proses insinerasi ini dilakukan dengan durasi selama 3 menit pembakaran dan temperatur awal pada ruang bakar pertama diatur pada 800 °C serta temperatur awal ruang bakar kedua pada 1000 °C. Variasi laju udara yang digunakan pada penelitian ini yaitu 8,02 m/s, 10,05 m/s dan 12,06 m/s. Dari pengujian yang telah dilakukan, laju konsumsi bahan bakar limbah medis tertinggi diperoleh dengan variasi 10,05 m/s sebesar 19,04 kg/jam dan yang terendah yaitu pada variasi 8,02 m/s yaitu sebesar 18,66 kg/jam. Pada laju konsumsi bahan bakar gas mengalami penurunan dari variasi pertama hingga variasi ketiga dengan yang tertinggi yaitu 6,33 kg/jam dan yang terendah yaitu 6,13 kg/jam.

Kata kunci: Insinerator Dual Chamber, Suplai Udara, Laju Konsumsi Bahan Bakar

Abstract

An experimental study was conducted on a dual-chamber medical waste incinerator to determine the consumption rate and fuel requirements of medical waste and gas, with variations in the predetermined air flow rate. The tested samples consisted of 1 kg of medical waste for each sample. The incineration process was carried out for a duration of 3 minutes of burning, with an initial temperature set at 800°C in the first combustion chamber and an initial temperature of 1000°C in the second combustion chamber. The air flow rate variations used in this study were 8.02 m/s, 10.05 m/s, and 12.06 m/s. From the conducted tests, the highest consumption rate of medical waste fuel was obtained with the variation of 10.05 m/s, at 19.04 kg/h, while the lowest was at 8.02 m/s, at 18.66 kg/h. The consumption rate of gas fuel decreased from the first to the third variation, with the highest at 6.33 kg/h and the lowest at 6.13 kg/h.

Keywords: Dual Chamber Incinerator, Air Supply, Fuel Consumption Rate.

1. Pendahuluan

Sampah medis (*medical waste*) merupakan semua jenis sampah yang dihasilkan dari aktivitas yang berhubungan dengan kesehatan termasuk hal-hal yang menjadi sumber yang berhubungan langsung, seperti dari rumah sakit, klinik, panti jompo untuk orang tua, bank darah dan layanan pengumpulan, penelitian dan pengujian hewan laboratorium, dan pusat penelitian biomedis dan laboratorium [1]. Pengelolaan limbah medis memiliki potensi bahaya mulai dari tahap pengumpulan sampah, penampungan, pembuangan dan tahap pemusnahan. Beberapa dampak negatif yang dapat ditimbulkan oleh adanya limbah ini adalah terjadinya pencemaran yang berdampak pada penurunan kualitas lingkungan dan kesehatan.

Pada tahap pemusnahan limbah medis, salah satu metode yang dapat digunakan adalah dengan metode insinerasi. Metode insinerasi dapat mereduksi sebesar 85% dari volume awal sampah medis dan memberikan solusi tambahan terhadap bau dan lindi atau cairan yang

dihasilkan dari sampah medis, selain itu juga membantu mengurangi keterbatasan ruang pembuangan sampah, menyediakan sumber energi tambahan dan residu insinearto yang berpotensi untuk di daur ulang [2][3]. Selain itu, insinerator terbaru di Jepang dapat mereduksi limbah sebesar 97,5% dari total beratnya dengan memproduksi listrik dan panas dalam skala besar [4]. Namun insinerator memiliki kekurangan yaitu pada saat proses pembakaran yang dilakukan akan menghasilkan output berupa gas dengan partikel debu (*fly ash*) dan berbagai emisi gas buang [5]. Emisi gas buang tersebut dapat diminimalisir dengan melakukan pengontrolan pada proses pembakaran pada insinerator [6].

Salah satu alternatif pengontrolan yang dapat digunakan pada proses pembakaran insinerator yaitu dengan menggunakan suplai udara yang optimal. Pembakaran yang terjadi dengan suplai udara yang kurang dapat mengakibatkan terjadinya pembakaran tidak sempurna dengan produk pembakaran yang terbentuk berupa gas-gas pirolisis [7], namun

penggunaan udara yang berlebih pada proses pembakaran juga menjadi salah satu faktor terjadinya penurunan temperatur pada proses pembakaran [8].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kebutuhan bahan bakar yang optimal dalam proses pembakaran limbah medis menggunakan insinerator limbah medis dual chamber dengan variasi suplai udara. Permasalahan yang akan dikaji mencakup pengaruh variasi laju udara terhadap kebutuhan bakar insinerator limbah medis dual chamber. Untuk mencegah terjadinya penyimpangan arah dan tujuan dari topik permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini, maka beberapa batasan masalah yang digunakan yaitu:

1. Pengambilan data pengujian diasumsikan pada kondisi lingkungan yang steady state.
2. Kecepatan udara yang dialirkan blower diasumsikan konstan.
3. Bahan yang akan dibakar merupakan bahan yang berupa limbah medis seperti limbah masker, suntikan, perban, selang infus.
4. Udara yang ditambahkan ke ruang bakar primer insinerator disuplai dari blower pada satu titik saluran.

2. Dasar Teori

2.1 Insinerasi

Di dalam suatu proses pengolahan limbah, sistem pengolahan limbah dengan proses termal menjadi salah satu alternatif yang dapat digunakan [9]. Insinerasi merupakan suatu proses dalam pembakaran sampah dengan temperatur yang berkisar antara 800°C hingga 1100°C menggunakan alat insinerator yang terkontrol dengan hasil pembakaran yang berupa gas dan abu [6][10]. Di beberapa rumah sakit di Tanzania, metode insinerasi menjadi salah satu metode yang biasa digunakan untuk mengatasi permasalahan limbah medis [7].

2.2 Limbah Medis

Limbah medis (medical waste) merupakan semua jenis sampah yang dihasilkan dari aktivitas yang berhubungan dengan kesehatan termasuk hal-hal yang menjadi sumber yang berhubungan langsung, seperti dari rumah sakit, klinik, panti jompo untuk orang tua, bank darah dan layanan pengumpulan, penelitian dan pengujian hewan laboratorium, dan pusat penelitian biomedis dan laboratorium [1]. Jika ditinjau dari sumbernya, sebagian besar dari limbah medis digolongkan sebagai limbah B3 (bahan berbahaya dan beracun).

2.3 Udara

Udara merupakan komponen yang menyusun atmosfer bumi yang di dalamnya terkandung berbagai zat dengan nitrogen sebesar 79% dan oksigen sebesar 21% sebagai penyusun kandungan terbesar [9]. Dalam proses insinerasi, udara digunakan sebagai suplai oksigen yang digunakan dalam proses pembakaran. Berikut merupakan tabel penyusun kandungan udara.

Tabel 1. Penyusun Kandungan Udara

Nitrogen	78.084%
Oksigen	20.946%
Argon	0.934%
Karbon dioksida	360 ppm (bervariasi)
Neon	18.18 ppm
Helium	5.24 ppm
Metana	1.6 ppm
Krypton	1.14 ppm
Hidrogen	0.5 ppm
Nitrous oxide	0.3 ppm
Xenon	0.087 ppm

3. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode studi eksperimental guna untuk mengetahui total kebutuhan bahan bakar yang diperlukan dalam proses insinerasi limbah medis pada insinerator limbah medis dual chamber.

Proses pengujian ini dilakukan dengan menggunakan tiga variasi suplai udara yaitu 8,02 m/s, 10,05 m/s dan 12,06 m/s dengan durasi waktu proses pembakaran limbah medis selama 3 menit untuk setiap variasi. Pada pengujian ini variasi udara disuplai pada ruang bakar pertama dengan temperatur awal pembakaran pada ruang bakar pertama di kontrol pada temperatur 800°C sedangkan pada ruang bakar kedua pembakaran dilakukan dengan menggunakan suplai oksigen dengan laju tetap untuk setiap variasi dan temperatur awal pembakaran di ruang bakar di kontrol pada suhu 1000°C.

3.1 Alat

1. Anemometer digunakan sebagai alat pengatur variasi laju kecepatan udara yang disuplai pada proses insinerasi
2. Insinerator limbah medis dual chamber sebagai alat yang digunakan untuk proses untuk pembakaran limbah medis.
3. Flowmeter sebagai alat yang digunakan untuk mengukur laju aliran volume oksigen yang di suplai.
4. Timer untuk mengukur durasi yang digunakan pada proses insinerasi mulai

dari proses pemanasan hingga proses pembakaran limbah medis

5. Laptop sebagai alat untuk menampilkan dan mengolah data.
6. Timbangan sebagai alat yang digunakan untuk mengukur berat limbah medis, abu dan massa gas yang digunakan dalam proses insinerasi.

3.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada proses insinerasi ini yaitu limbah medis dengan berat 1 kg dan komposisi yang sama untuk setiap sampel, udara dan gas LPG.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil pengujian

Hasil pengujian kebutuhan bahan bakar gas dengan variasi kecepatan suplai udara dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. Hasil Data Pengujian

Variasi	Kebutuhan gas	Durasi(menit)
8,02 m/s	0,54 kg	05:07
10,05 m/s	0,555 kg	05:22
12,06 m/s	0,57 kg	05:35

4.2 Pembahasan

Dari tabel data hasil pengujian, dapat diketahui bahwa peningkatan variasi yang digunakan juga meningkatkan kebutuhan gas juga lama durasi pembakaran yang digunakan pada proses insinerasi. Pada variasi 8,02 m/s gas LPG yang digunakan yaitu sebesar 0,54 kg dengan durasi insinerasi 5 menit 7 detik, pada variasi 10,05 m/s gas LPG yang digunakan yaitu sebesar 0,555 kg dengan durasi insinerasi 5 menit 22 detik dan pada variasi 12,06 m/s gas LPG yang digunakan yaitu sebesar 0,57 kg dengan durasi insinerasi 5 menit 35 detik.

Peningkatan kebutuhan gas LPG pada setiap kenaikan variasi kecepatan suplai udara yang digunakan disebabkan karena penggunaan suplai udara yang berasal langsung dari lingkungan sehingga setiap peningkatan variasi yang digunakan akan semakin menghambat proses pemanasan dari pada setiap ruang bakar sehingga juga meningkatkan durasi dari proses pembakaran yang diperlukan dari setiap variasi.

Setelah proses pengujian dilakukan, data dari hasil pengujian tersebut diolah untuk mendapatkan laju konsumsi bahan bakar gas dan limbah medis. Dari hasil pengolahan data yang dilakukan, diketahui bahwa peningkatan variasi yang digunakan menurunkan laju

konsumsi bahan bakar gas LPG. Penggunaan variasi kecepatan suplai udara 8,02 m/s menghasilkan laju konsumsi bahan bakar gas LPG yang paling tinggi yaitu sebesar 6,33 kg/jam. Dalam variasi tersebut proses dari pembakaran relatif lebih singkat dengan kebutuhan gas LPG lebih rendah dan penggunaan variasi sebesar 8,02 m/s tidak terlalu menghambat kenaikan temperatur yang digunakan pada variasi tersebut. Pada variasi tersebut menghasilkan laju konsumsi bahan bakar limbah medis yang paling rendah yaitu sebesar 18,66 kg/jam, hal tersebut diakibatkan karena penggunaan variasi suplai udara 8,02 m/s tidak mencukupi kebutuhan oksigen yang diperlukan dalam proses insinerasi sehingga proses pembakaran yang terjadi tidak optimal.

5. Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat diketahui bahwa adanya peningkatan variasi kecepatan suplai udara berpengaruh dalam proses pembakaran limbah medis dimana seiring dengan peningkatan variasi yang digunakan, terjadi penurunan laju konsumsi bahan bakar gas yang dihasilkan. Penggunaan variasi kecepatan suplai udara 8,02 m/s memiliki nilai laju konsumsi bahan bakar gas yang paling tinggi yaitu sebesar 6,33 kg/jam dan laju konsumsi bahan bakar limbah medis sebesar 18,66 kg/jam. Hal tersebut mengindikasikan bahwa peningkatan kecepatan udara menghambat peningkatan laju kenaikan temperatur pada ruang bakar.

Daftar Pustaka

- [1] Tsai, W.T. (2021) 'Analysis of medical waste management and impact analysis of COVID-19 on its generation in Taiwan', *Waste Management and Research*, 39(1_suppl), pp. 27–33. DOI: 10.1177/0734242X21996803.
- [2] Yang, X. *et al.* (2022) 'Effects of air supply optimization on NOx reduction in a structurally modified municipal solid waste incinerator', *Applied Thermal Engineering*, 201(PA), p. 117706. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2021.117706.
- [3] Liu, A. *et al.* (2015) 'Gulf Organisation for Research and Development A review of municipal solid waste environmental standards with a focus on incinerator residues', *International Journal of Sustainable Built Environment*, 4(2), pp. 165–188. DOI: 10.1016/j.ijbsbe.2015.11.002.
- [4] Chaowiang, S. *et al.* (2022) 'Key Points and Best Practices for Successful Municipal

- Solid Waste Incineration**’, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1008(1). DOI: 10.1088/1755-1315/1008/1/012020.
- [5] Jayadi, H., Hendrarinata, F. and Suyanto, B. (2021) ‘**Chimney Filter Model Wet Scrubber to Reduce Air Pollutant Emissions 41 | Publisher : Humanistic Network for Science and Technology Health Notions , Volume 5 Number 2 (February 2021) ISSN 2580-4936 42** ’, 5(2), pp. 41–45.
- [6] Wahyono, S. (2001) ‘**Pengolahan Sampah Organik dan Aspek Sanitasi**’, *Jurnal Teknologi lingkungan*, 2(2), pp. 113–118.
- [7] Mngoma, A. (2015) ‘**Operating Conditions of A Locally Made Fixed-Bed Incinerator , a Case Study of Bagamoyo – Tanzania**’. DOI: 10.11648/j.ijema.20150302.17.
- [8] Nnaemeka, S.P., Emeka, R. and State, E. (2018) ‘**ISSN : 2278-6252 DESIGN AND EVALUATION OF A DOUBLE CHAMBER ISSN : 2278-6252**’, 7(6), pp. 1–21.
- [9] Naryono, E. *et al.* (2015) ‘**Simulasi dan evaluasi insinerasi sampah organik rumah tangga pada reaktor unggun tetap (fixed bed)**’, *Indonesian Green Technology Journal*, 4(2), pp. 28–35.
- [10] Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (2018) ‘**Teknologi Termal WtE Berbasis Proses Pembakaran (Insinerasi)**’, *Modul Pelatihan*, 1(09), pp. 1–124.

	<p>I Gede Riski Ananta menyelesaikan studi di Universitas Udayana sejak tahun 2019 pada program sarjana jurusan Teknik mesin. Topik penelitian yang diambil sebagai tugas akhir studi S1 tentang performansi dari insinerator limbah medis.</p>
<p>Memiliki minat di bidang penelitian terkait topik-topik yang berkaitan dengan mesin pembakaran dalam, gasifikasi dan topik yang berkaitan dengan termodinamika.</p>	

	<p>I Nyoman Suprapta Winaya adalah seorang profesor di Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik-Universitas Udayana. menerima gelar Sarjana dari Universitas Udayana tahun 1994, gelar Master dari Dalhousie University Kanada dan gelar Ph.D dari Niigata University Jepang</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati terkait teknologi <i>fluidized bed, new and renewable energy</i>, pembakaran, gasifikasi, pirolisis, dan topik-topik yang berkaitan dengan manajemen energi.</p>	

Analisa Laju Konsumsi Bahan Bakar Gas LPG pada Insinerator Limbah Medis *Dual Chamber* dengan Variasi Durasi Waktu Injeksi Oksigen

I Ketut Sakya Sanatana, I Nyoman Suprpta Winaya, I Wayan Arya Darma, I Putu Angga Yuda Pratama, dan I Gusti Ngurah Putu Tenaya

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit, Jimbaran Bali

Abstrak

Limbah medis termasuk dalam kategori limbah B3 yang memiliki tingkat bahaya yang tinggi dan berpotensi menimbulkan risiko terhadap kesehatan dan lingkungan. Oleh karena itu, penanganan limbah medis harus dilakukan dengan serius dan sungguh-sungguh. Salah satu metode efektif untuk mengolah limbah medis, terutama yang termasuk dalam kategori limbah B3 berbahaya, adalah melalui proses insinerasi dengan alat yang bernama insinerator. Dalam metode ini, limbah medis diolah melalui proses pembakaran pada suhu yang sangat tinggi, dengan harapan dapat mengurangi limbah secara optimal. Pada penelitian ini dilakukan penambahan injeksi oksigen di ruang bakar kedua pada insinerator limbah medis dual chamber dengan memvariasikan durasi waktu injeksi oksigen dengan tujuan untuk mengetahui laju konsumsi bahan bakar gas LPG selama pembakaran. Penelitian ini dilakukan dengan tiga variasi durasi waktu injeksi oksigen yaitu selama 2 menit, 3 menit dan 4 menit dengan limbah medis seberat 1 kg. Proses insinerasi dilakukan pada temperatur chamber 1 sebesar 800 °C dan chamber 2 sebesar 1000 °C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi durasi waktu injeksi oksigen, suplai oksigen yang masuk ke ruang bakar kedua akan meningkat. Hal ini mengakibatkan penurunan laju konsumsi bahan bakar gas, di mana laju konsumsi bahan bakar gas paling optimal ditemukan pada variasi durasi waktu injeksi oksigen selama 4 menit, yaitu sebesar 6,17 kg/jam.

Kata Kunci: Insinerator Dual Chamber Fix Grate, Oxy-fuel

Abstract

Medical waste falls under the category of hazardous waste, known as B3 waste, which poses a high level of danger and potential risks to health and the environment. Therefore, the handling of medical waste must be taken seriously and diligently. One effective method for managing medical waste, especially hazardous B3 waste, is through the process of incineration using a device called an incinerator. In this method, medical waste is treated through high-temperature combustion, aiming to achieve optimal waste reduction. In this study, oxygen injection was introduced into the second combustion chamber of a dual-chamber medical waste incinerator, with varying durations of oxygen injection. The objective was to determine the rate of LPG gas fuel consumption during the combustion process. The research conducted three variations of oxygen injection duration: 2 minutes, 3 minutes, and 4 minutes, using 1 kg of medical waste. The incineration process was carried out at a temperature of 800°C in chamber 1 and 1000°C in chamber 2. The results of the study indicated that as the duration of oxygen injection increased, the supply of oxygen entering the second combustion chamber also increased. This resulted in a decrease in the rate of gas fuel consumption. The most optimal rate of gas fuel consumption was found in the variation with a 4-minute duration of oxygen injection, which amounted to 6.17 kg/hour.

Keywords: Dual Chamber Fixed Grate Incinerator, Oxy-fuel.

1. Pendahuluan

Limbah medis termasuk dalam kategori limbah B3 yang sangat berbahaya dan berpotensi menimbulkan risiko terhadap kesehatan dan lingkungan. Oleh karena itu, penanganan limbah medis harus dilakukan dengan serius. Menurut Peraturan Pemerintah

Nomor 101 Tahun 2014 tentang pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, pengelolaan limbah B3 harus menggunakan metode yang aman dan ramah lingkungan, seperti metode pembakaran atau insinerasi [1].

Insinerasi adalah suatu metode pengolahan limbah yang melibatkan proses pembakaran dengan suhu lebih dari 800°C.

Tujuan dari proses ini adalah untuk mengurangi volume limbah yang mudah terbakar sehingga tidak dapat didaur ulang, serta untuk membunuh virus, bakteri, dan zat kimia berbahaya. Proses insinerasi dilakukan di dalam sebuah mesin yang disebut insinerator [2].

Insinerator yang dilengkapi dengan ruang bakar ganda memiliki keunggulan dalam meningkatkan efektivitas pembakaran dan mengurangi emisi yang dihasilkan [3]. Namun, penggunaan insinerator dengan ruang bakar ganda juga membutuhkan konsumsi bahan bakar gas yang tinggi [4]. Dalam upaya untuk mengoptimalkan pembakaran, penambahan oksigen pada proses pembakaran dapat meningkatkan puncak suhu di ruang bakar insinerator. Hal ini berkontribusi pada pengurangan konsumsi bahan bakar yang diperlukan oleh burner. Selain itu, suplai oksigen pada proses pembakaran juga dapat secara signifikan mengurangi emisi CO dan HC [5]. Bu, dkk, 2016 menyatakan bahwa partikel bahan bakar yang terpapar oksigen memiliki temperatur puncak yang lebih tinggi daripada yang terpapar udara konvensional. Hal ini menyebabkan pengurangan konsumsi bahan bakar gas yang digunakan [6].

Berdasarkan penelitian yang sudah dijelaskan di atas, oksigen digunakan dalam proses pembakaran untuk mengurangi emisi polutan yang dihasilkan dan mereduksi limbah medis, namun pemakaian oksigen yang berlebih akan meningkatkan biaya operasional yang diperlukan dikarenakan harga oksigen yang cukup mahal. Oleh karena itu, penentuan durasi waktu injeksi oksigen yang tepat perlu dilakukan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mencapai pemusnahan limbah medis secara maksimal dengan konsumsi bahan bakar yang rendah. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan durasi waktu injeksi oksigen pada ruang bakar kedua dari insinerator limbah medis dual chamber, dengan fokus pada laju konsumsi bahan bakar gas LPG. Untuk mencapai hasil yang diinginkan dalam mengatasi permasalahan tersebut, dilakukan pembatasan masalah yang meliputi:

1. Pada penelitian ini, digunakan alat insinerator limbah medis dual chamber dengan kapasitas 38,8 kg untuk

melakukan proses pembakaran limbah medis.

2. Pengambilan data pengujian diasumsikan dilakukan dalam kondisi lingkungan steady state.
3. Dalam penelitian ini, diasumsikan bahwa kecepatan udara blower tetap konstan sepanjang percobaan.
4. Toleransi deviasi atau kesalahan dari nilai kecepatan udara blower pembakaran yang diperbolehkan adalah antara 0,01 hingga 0,2 m/s.
5. Oksigen yang ditambahkan ke ruang bakar kedua disuplai pada satu titik

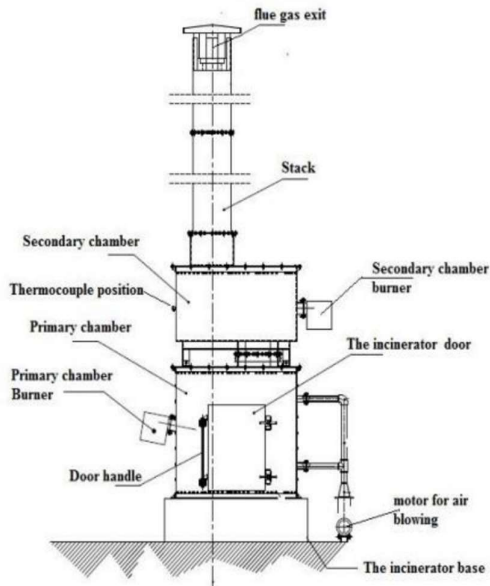
2. Dasar Teori

2.1. Limbah Medis

Limbah medis adalah salah satu jenis limbah yang termasuk dalam kategori limbah B3 yang memerlukan penanganan khusus dalam pengelolaannya. Jenis limbah medis mencakup limbah infeksius, limbah patologis, limbah benda tajam, limbah kimia, limbah farmasi, limbah sitotoksik, dan limbah radioaktif. Sesuai dengan ketentuan Kemenkes Nomor 1204 Tahun 2004, limbah medis dapat dikelompokkan menjadi tujuh kategori yang meliputi limbah infeksius, limbah patologis, limbah benda tajam, limbah kimia, limbah farmasi, limbah sitotoksik, dan limbah radioaktif [7].

2.2. Insinerator *Fixed Grate*

Insinerasi adalah proses termal oksidasi limbah padat yang dilakukan di dalam sebuah alat pembakaran yang disebut insinerator. Fixed grate insinerator adalah jenis insinerator konvensional yang memiliki grate yang tidak bergerak dan terletak di bagian bawah insinerator. Insinerator ini dilengkapi dengan jalur bukaan di bagian atas atau samping untuk memasukkan sampah, serta bukaan lainnya untuk memindahkan bahan yang tidak terbakar seperti abu dan logam. Di bawah grate terdapat ash pit, yang berfungsi sebagai tempat penampungan abu [8].



Gambar 1. Skematik insinerator *fixed grate*

2.3. Oxyfuel Combustion

Performa insinerator dapat ditingkatkan dengan penambahan oksigen. Oxyfuel combustion adalah proses pembakaran yang menggunakan oksigen murni dengan konsentrasi tinggi, mencapai 95%. Tujuan dari pembakaran dengan oksigen murni adalah mencapai pembakaran yang sempurna, di mana sebagian besar gas buang terdiri dari CO₂ dan H₂O. Hal ini memungkinkan pemisahan atau penangkapan CO₂ dari gas buang [9]. Meskipun peningkatan konsentrasi gas oksigen yang kecil, namun memiliki dampak yang signifikan pada operasi insinerator dan pengendalian zona pembakaran, terutama ketika menggunakan bahan bakar dengan nilai kalor yang relatif rendah [10].

3. Metode penelitian

Metode eksperimental digunakan dalam penelitian ini untuk mengetahui pengaruh dari variabel tertentu terhadap variabel lainnya. Pengujian dilakukan menggunakan limbah medis seberat 1 kg. sebelum proses insinerasi dimulai, tabung gas LPG di timbang terlebih dahulu. Selanjutnya laju aliran massa oksigen diatur sebesar $6,5 \times 10^{-4}$ kg/s dan kecepatan udara blower sebesar 10 m/s. Dilanjutkan mengatur temperatur ruang bakar pertama dan ruang bakar kedua sebesar 800°C dan 1000°C serta mengatur

variabel bebas yaitu durasi waktu injeksi oksigen 2 menit pada PLC. Ketika semua variabel sudah diatur, limbah medis dimasukkan ke dalam insinerator dan proses insinerasi dimulai. Setelah insinerasi selesai dilakukan, timbang kembali tabung gas LPG yang telah digunakan untuk mengetahui kebutuhan gas yang diperlukan, sehingga dapat menghitung laju konsumsi bahan bakar gas LPG. Pengujian serupa juga dilakukan untuk durasi waktu injeksi oksigen selama 3 menit dan 4 menit.

3.1. Alat

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

1. *Incinerator fix grate* limbah medis *dual chamber*.
2. Anemometer berfungsi untuk mengukur dan mengatur kecepatan udara blower.
3. Timbangan digunakan untuk mengukur berat tabung gas LPG, limbah medis, dan abu.
4. Flowmeter untuk mengukur laju aliran massa dari oksigen.
5. *Timer* untuk mengukur waktu insinerasi.
6. Laptop sebagai pembaca grafik temperatur dari bacaan untuk menampilkan dan menyimpan sekaligus mengolah data temperatur dari *data logger*.

3.2. Bahan

Bahan pada penelitian ini adalah limbah medis, oksigen dan gas LPG.

4. Hasil dan Pembahasan

Data hasil penelitian menunjukkan kebutuhan bahan bakar gas terendah terletak di variasi durasi waktu injeksi oksigen 2 menit sebesar 0,452 kg selama 4 menit 18 detik, hal ini dikarenakan durasi yang singkat. Begitu juga dengan variasi ketiga yang memiliki nilai kebutuhan bahan bakar gas yang tinggi sebesar 0,674 kg selama 6 menit 33 detik disebabkan durasi yang lama. Dengan menggunakan data yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk mendapatkan hasil laju konsumsi bahan bakar gas. Hasil perhitungan menunjukkan semakin tinggi durasi waktu injeksi oksigen maka laju konsumsi bahan bakar gas LPG menurun. Pada variasi durasi waktu injeksi oksigen 4 menit nilai konsumsi bahan bakar gas LPG terendah

sebesar 6,17 kg/jam. Rendahnya nilai konsumsi bahan bakar gas LPG disebabkan suplai oksigen yang masuk keruang bakar kedua lebih tinggi dibandingkan variasi lainnya sehingga mengakibatkan puncak temperatur pada ruang bakar kedua juga meningkat dan waktu mati *burner* lebih lama karena puncak temperatur melebihi temperatur yang dikontrol.

5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa durasi waktu injeksi oksigen dapat mempengaruhi laju konsumsi bahan bakar gas LPG. Nilai laju konsumsi bahan bakar gas LPG menurun seiring meningkatnya durasi waktu injeksi oksigen, hal itu disebabkan waktu mati *burner* yang lebih lama karena puncak temperatur yang tinggi. Variasi durasi waktu injeksi oksigen 4 menit memiliki nilai laju konsumsi bahan bakar gas LPG terendah sebesar 6,17 kg/jam. Dengan demikian, hasil tersebut menunjukkan bahwa durasi waktu injeksi oksigen dapat menurunkan laju konsumsi bahan bakar gas LPG pada *burner* insinerator.

Daftar Pustaka

- [1] P. R. Indonesia, “*PP No. 101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun*,” 2014.
- [2] Sukamta, A. Wiranata, and Thoharuddin, “*Pembuatan Alat Incinerator Limbah Padat Medis Skala Kecil*,” *Semesta Tek.*, vol. 20, no. 2, pp. 147–153, 2017.
- [3] A. Mngoma Omari, “*Operating Conditions of A Locally Made Fixed-Bed Incinerator, a Case Study of Bagamoyo – Tanzania*,” *Int. J. Environ. Monit. Anal.*, vol. 3, no. 2, p. 80, 2015.
- [4] A. T. Lando, I. Djamaludin, A. N. Arifin, N. Oktorina, R. Danah, and M. F. Sulistyowati, “*The Effectiveness of Incinerator at the Integrated Waste Treatment Plant in the Campus of Engineering Faculty-Hasanuddin University*,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 875, no. 1, 2020.
- [5] Nidhi and K. A. Subramanian, “*Experimental investigation on effects of oxygen enriched air on performance, combustion and emission characteristics of a methanol fuelled spark ignition engine*,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 147, no. July 2018, pp. 501–508, 2019.
- [6] C. Bu *et al.*, “*Oxy-fuel combustion of a single fuel particle in a fluidized bed: Char combustion characteristics, an experimental study*,” *Chem. Eng. J.*, vol. 287, no. March 2019, pp. 649–656, 2016.
- [7] R. Adhani, *Pengelolaan Limbah Medis*, vol. 44, no. 2. 2018.
- [8] Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, “*Teknologi Termal WtE Berbasis Proses Pembakaran (Insinerasi)*,” *Modul Pelatih.*, vol. 1, no. 09, pp. 1–124, 2018.
- [9] M. Saleh and A. Hedén Sandberg, “*Implementation Of Oxyfuel Combustion In A Waste Incineration CHP Plant: A Techno-Economic Assessment*,” no. June, 2021.
- [10] R. Febyanasari, “*Studi Numerik Karakteristik Aliran Dan Pembakaran Pada Tangentially Fired Pulverized Coal Boiler Dengan Menggunakan Oxy-Fuel Pada Kasus Coal Blending Antara Medium Rank Coal (MRC) Dan Low Rank Coal (LRC)*,” pp. 1–117, 2014.



Bidang penelitian yang diminati terkait teknologi mesin pembakaran dalam dan termodinamika



I Nyoman Suprpta Winaya merupakan seorang profesor di Program Studi Teknik Mesin, yang berada di Fakultas Teknik, Universitas Udayana. Meraih gelar Sarjana dari Universitas Udayana pada tahun 1994, gelar Master dari Dalhousie University di Kanada, dan gelar Ph.D. dari Niigata University di Jepang.

Bidang penelitian yang diminati adalah *new and renewable energy*, teknologi *fluidized bed*, pembakaran, gasifikasi, pirolisis dan *energy management*

Kajian Analitis Kebutuhan Bahan Bakar Gas Insinerator Limbah Medis *Dual Chamber* Dengan Variasi Temperatur Pada *Chamber* Kedua

I Made Pujanu Ary Shantika, I Nyoman Suprapta Winaya, I Wayan Arya Darma, dan I Putu Angga Yuda Pratama

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit, Jimbaran Bali

Abstrak

Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui laju bahan bakar gas dari insinerator limbah medis *dual chamber fix grate* dengan memvariasi temperatur pembakaran pada ruang bakar kedua yang telah ditentukan dan dapat memberi efek langsung terhadap pengolahan limbah medis. Setiap sampel limbah medis yang digunakan seberat 1 kg yang terdiri dari masker, kantong infus, spuit, latex dan kasa. Proses insinerasi dilakukan pada temperatur ruang bakar pertama sebesar 800 °C, dengan durasi pembakaran selama 3 menit, dan aliran oksigen sebesar 23,07 liter/menit. Pengujian dilakukan sebanyak empat kali dengan variasi temperatur pembakaran ruang bakar kedua berurutan-turut yaitu: 950 °C, 1000 °C, 1050 °C, dan 1100 °C. Hasil penelitian menunjukkan, nilai laju konsumsi bahan bakar gas tertinggi berada pada variasi keempat, yaitu sebesar 7,33 kg/jam. Sedangkan laju konsumsi bahan bakar gas terendah pada variasi pertama, sebesar 6,15 kg/jam.

Kata Kunci: *Insinerator Dual Chamber Fix Grate, Temperatur, Ruang Bakar Kedua, Performansi, Laju Konsumsi Bahan Bakar*

Abstract

This research was conducted to determine the gas fuel consumption rate of a *dual chamber fixed grate medical waste incinerator* by varying the combustion temperature in the second combustion chamber, which has been predetermined and can have a direct effect on medical waste treatment. Each sample of medical waste used weighed 1 kg and consisted of masks, infusion bags, syringes, latex, and gauze. The incineration process was carried out at a temperature of 800 °C in the first combustion chamber, with a burning duration of 3 minutes and an oxygen flow rate of 23.07 liters/minute. The testing was performed four times with sequential variations of combustion temperatures in the second combustion chamber: 950 °C, 1000 °C, 1050 °C, and 1100 °C. The research results showed that the highest gas fuel consumption rate occurred in the fourth variation, amounting to 7.33 kg/hour. Meanwhile, the lowest gas fuel consumption rate was observed in the first variation, at 6.15 kg/hour.

Keywords: *Fix Grate Dual Chamber Incinerator, Temperature, Second Combustion Chamber, Performance, Fuel Consumption Rate*

1. Pendahuluan

Limbah medis merupakan hasil buangan dari suatu aktivitas medis yang umumnya telah terkontaminasi oleh bakteri, virus, racun, dan bahan radioaktif yang berpotensi berbahaya bagi manusia maupun makhluk lain. Jika tidak diolah dengan baik, limbah medis akan sangat berbahaya dan penyimpanan menjadi jalan terakhir apabila tidak dapat diolah secara langsung[1]. Jumlah limbah medis terus meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah rumah sakit dan berbagai fasilitas kesehatan di Indonesia. Menurut Profil Kesehatan Indonesia Tahun 2021, Selama tahun 2017-2021, jumlah rumah sakit di Indonesia mengalami peningkatan

sebesar 9,6%. Pada tahun 2017 terdapat 2.776 rumah sakit yang meningkat menjadi 3.042 pada tahun 2021[2]. Oleh karena itu, limbah penting untuk mengolah limbah medis untuk menghindari pencemaran lingkungan dan penyebaran penyakit.

Dalam pengolahan limbah medis, metode yang paling umum digunakan di berbagai negara di dunia saat ini adalah insinerasi[3]. Alat yang digunakan dalam proses insinerasi yaitu insinerator yang merupakan tungku pembakaran dengan temperatur pembakaran mencapai 800°C hingga 1600°C yang digunakan untuk membakar limbah medis menjadi gas dan abu (*bottom ash* dan *fly ash*)[4]. Insinerator limbah medis dengan ruang bakar ganda(*dual*

chamber) merupakan salah satu teknologi untuk mengoptimalkan pembakaran sehingga dapat mengurangi emisi yang dapat menimbulkan pencemaran dan menghancurkan limbah dengan lebih efektif[5][6].

Namun dalam proses insinerasi dengan insinerator terdapat beberapa kekurangan, salah satunya yaitu konsumsi bahan bakar yang berlebihan. Hal ini dapat terjadi ketika tidak ada kontrol temperatur dan waktu siklus insinerasi yang tepat[7]. Temperatur memiliki peran yang sangat penting dalam proses insinerasi. Pada saat proses insenerasi dengan insinerator, temperatur harus selalu diperhatikan karena keberhasilan proses pembakaran ditentukan tergantung pada tercapainya temperatur yang diinginkan. Namun perlu dicatat bahwa semakin tinggi temperatur yang digunakan, pembakaran yang terjadi tentu semakin baik namun konsumsi bahan bakar akan semakin meningkat[8].

Dilakukannya penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kebutuhan bahan bakar yang optimal pada proses pembakaran limbah medis menggunakan insinerator limbah medis *dual chamber*. Permasalahan yang akan dikaji meliputi pengaruh variasi temperatur pembakaran pada *chamber* kedua terhadap kebutuhan bahan bakar insinerator limbah medis *dual chamber*. Maka dari itu untuk mencapai hasil yang diinginkan dalam menyelesaikan permasalahan ini, diberlakukan beberapa batasan masalah, yaitu:

1. Proses insinerasi limbah medis dilakukan dengan alat insinerator limbah medis *dual chamber* berkapasitas bahan bakar padat sebesar 38,8 kg.
2. Data pengujian diambil dengan kondisi lingkungan yang diasumsikan *steady state*.
3. Kecepatan dari udara *blower* diasumsikan konstan.
4. Oksigen yang ditambahkan ke ruang bakar kedua disuplai pada satu titik.
5. Toleransi deviasi atau *error* dari nilai kecepatan udara *blower* pembakaran yang diizinkan yaitu berada pada rentang 0,01 – 0,2 m/s.

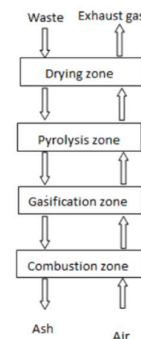
2. Dasar Teori

2.1. Limbah Medis

Limbah medis merupakan limbah infeksius dan berbahaya yang berasal dari berbagai aktifitas kesehatan baik itu rumah sakit maupun fasilitas kesehatan lainnya. Limbah ini harus dikelola dengan baik untuk mencegah terjadinya penularan infeksi bagi masyarakat di sekitar fasilitas kesehatan serta para tenaga kesehatan yang bekerja di dalamnya[9].

2.2. Insinerasi

Insenerasi adalah proses pembakaran yang dilakukan pada temperatur lebih dari 800°C, dengan tujuan untuk mengurangi volume dan massa dari limbah yang mudah terbakar serta sifat berbahaya dari limbah tersebut seperti bakteri, virus, dan kimia toksik. Insinerasi limbah medis merujuk pada proses pengolahan limbah medis yang mengandung bahan infeksius dengan menggunakan pembakaran bertemperatur tinggi, dalam suatu sistem yang terkontrol dan terisolir dari lingkungannya sehingga sifat berbahayanya dapat dihilangkan atau dikurangi[10]



Gambar 1. Skematik proses kerja pada insinerator

2.3. Faktor Yang Mempengaruhi Proses Insenerasi

Terdapat 3 faktor yang mempengaruhi proses insinerasi (3T) yaitu:

1. Temperatur

Temperatur pembakaran merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi nilai bakar (*heating value*) limbah dan bahan bakar tambahan dari luar, insinerator, suplai udara dan kontrol pembakaran. Proses pembakaran yang optimal memerlukan temperatur yang tinggi

untuk mencapai pembakaran yang sempurna.

2. Waktu (*Time*)
Proses pembakaran yang sempurna memerlukan waktu tinggal yang cukup agar udara dan bahan bakar dapat beraksi dengan optimal.
3. Turbulensi
Turbulensi pada proses pembakaran meliputi turbulensi dari pencampuran antara gas yang terbakar dan udara yang diperlukan untuk menjamin terjadinya reaksi yang cukup antara bahan bakar dan udara.

3. Metode penelitian

Dalam penelitian ini, metode pendekatan eksperimental diterapkan untuk mengidentifikasi kebutuhan bahan bakar dari insinerator limbah medis yang menggunakan dua ruang bakar.

Pengujian dilakukan dalam empat kali percobaan yang berbeda, dengan variasi temperatur pembakaran pada ruang bakar kedua berturut-turut sebesar 950°C, 1000°C, 1050°C, dan 1100°C. Pada pengujian ini, temperatur ruang bakar pertama dikontrol menjadi 800°C. Debit oxy-fuel yang digunakan pada ruang bakar kedua sebesar 23,077 liter/menit. Sampel limbah medis yang diujikan seberat 1 kg, durasi proses pembakaran limbah medis berlangsung selama 3 menit, durasi masuknya oksigen ke *chamber* 2 selama 3 menit, dan kecepatan udara blower input sebesar 10 m/s.

Berikut merupakan alat dan bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini:

3.1. Alat

1. Insinerator limbah medis *dual chamber fix grate* sebagai alat utama untuk melakukan insinerasi.
2. Anemometer yang berfungsi untuk menghitung kecepatan udara dari blower *input* dan *output*.
3. Timbangan digital yang berfungsi untuk mengukur berat dari limbah medis, abu hasil insinerasi, dan tabung LPG.
4. Flowmeter yang berfungsi untuk mengukur laju aliran volume dari oksigen yang masuk pada ruang bakar kedua

5. *Timer* yang berfungsi untuk mengukur waktu dari proses insinerasi limbah medis.

6. Laptop sebagai alat untuk menampilkan dan menyimpan sekaligus mengolah data.

3.2. Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini meliputi limbah medis dengan komposisi yang tetap pada setiap sampel, oksigen, dan gas LPG.

4. Hasil dan Pembahasan

Dari hasil pengujian didapatkan kebutuhan bahan bakar gas paling tinggi berada pada temperatur pembakar ruang bakar kedua sebesar 1100°C dengan massa limbah medis seberat 1,258 kg dan massa abu hasil insinerasi seberat 0,086 kg selama 5 menit 38 detik. Hal ini disebabkan pada variasi ini menggunakan temperatur pada ruang bakar kedua yang paling tinggi sehingga memerlukan konsumsi bahan bakar gas untuk menyalakan *burner* lebih banyak yang dikarenakan waktu pemanasan ruang bakar yang lebih lama untuk mencapai temperatur yang telah ditentukan sebelum dilakukannya pembakaran limbah medis. Kebutuhan bahan bakar gas terendah didapatkan pada temperatur pembakar ruang bakar kedua sebesar 950°C dengan massa limbah medis seberat 1,231 kg dan massa abu hasil insinerasi seberat 0,086 kg selama 5 menit 25 detik. Hal ini disebabkan karena pada pengujian ini menggunakan variasi tempertur yang paling rendah sehingga waktu nyala *burner* saat proses pemanasan untuk mencapai temperatur yang diinginkan berlangsung singkat sehingga bahan bakar gas yang dibutuhkan lebih sedikit.

Setelah dilakukan pengujian, data yang diperoleh lalu diolah untuk mendapatkan laju konsumsi bahan bakar gas dan limbah medis. Hasil pengujian dan analisis menunjukkan bahwa laju konsumsi bahan bakar gas LPG meningkat seiring dengan peningkatan temperatur pembakaran pada ruang bakar kedua. Pada variasi temperatur pembakaran pada ruang bakar kedua sebesar 1100°C, diperoleh laju konsumsi bahan bakar gas paling tinggi yaitu 7,88 kg/jam. Meskipun demikian, pada variasi tersebut limbah medis mampu terbakar lebih cepat dibandingkan

variasi yang lain, dengan laju konsumsi limbah medis sebesar 18,78 kg/jam. Hal ini bisa terjadi dikarenakan temperatur yang telah mencukupi secara teoritis sehingga proses pembakaran yang terjadi lebih baik dibandingkan dengan variasi yang lain. Selain itu, dengan temperatur tersebut oksigen yang dialirkan ke ruang bakar kedua mampu bereaksi dengan baik selama proses pembakaran sehingga emisi gas yang dihasilkan menurun.

5. Kesimpulan

Pada penelitian ini, didapatkan bahwa peningkatan temperatur pada ruang bakar kedua berpengaruh pada laju konsumsi bahan bakar gas. Dengan meningkatnya temperatur ruang bakar kedua, maka waktu nyala burner semakin lama sehingga laju konsumsi dan kebutuhan bahan bakar gas pun semakin meningkat. Variasi temperatur pembakaran pada ruang bakar kedua sebesar 1100°C memiliki laju konsumsi bahan bakar gas paling tinggi yaitu 7,88 kg/jam dengan laju pembakaran limbah medis sebesar 19,036 kg/jam.

6. Daftar Pustaka

- [1] A. M. Asrun, L. A. Sihombing, and Y. Nuraeni, "Dampak Pengelolaan Sampah Medis Dihubungkan dengan Undang- Undang No 36 Tahun 2009 tentang Kesehatan dan Undang- Undang No. 32 Tahun 2009 Tentang Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup," *PAJOUL (Pakuan Justice J. Law)*, vol. 1, no. 1, pp. 33–46, 2020.
- [2] Kemenkes RI, *Profil Kesehatan Indonesia 2021*. 2022.
- [3] Z. M. Shareefdeen, "Medical Waste Management and Control," *J. Environ. Prot. (Irvine, Calif.)*, vol. 03, no. 12, pp. 1625–1628, 2012, doi: 10.4236/jep.2012.312179.
- [4] R. D. Utami, O. DG, and M. M, "Meningkatkan Kinerja Incenerator Pada Pemusnahan Limbah Medis RSUD dr. Soetomo Surabaya," *J. Ilm. Tek. Lingkungan.*, vol. 7, no. 2, pp. 115–123, 2017, [Online]. Available: http://eprints.upnjatim.ac.id/7207/1/7._Rahayu%2C_Oka_dan_Mirwan.pdf
- [5] A. Mngoma Omari, "Operating Conditions of A Locally Made Fixed-Bed Incinerator, a Case Study of Bagamoyo – Tanzania," *Int. J. Environ. Monit. Anal.*, vol. 3, no. 2, p. 80, 2015, doi: 10.11648/j.ijema.20150302.17.
- [6] Griselda González, Berenice Quintana, and Alfonso Espitia, "Incinerability Index of Municipal Solid Waste and Its Correlation with Carbon Monoxide and Nitrogen Oxides Emissions," *J. Environ. Sci. Eng. B*, vol. 6, no. 4, pp. 209–217, 2017, doi: 10.17265/2162-5263/2017.04.004.
- [7] S. V. Manyele, "Analysis of Medical Waste Incinerator Performance Based on Fuel Consumption and Cycle Times," *Engineering*, vol. 04, no. 10, pp. 625–635, 2012, doi: 10.4236/eng.2012.410080.
- [8] V. E. Matee and S. V. Manyele, "Analysis of Temperature Profiles and Cycle Time in a Large-Scale Medical Waste Incinerator," *Engineering*, vol. 07, no. 10, pp. 717–732, 2015, doi: 10.4236/eng.2015.710063.
- [9] M. Welliana, I. Efendi, and N. Aini, "Analisis Pengelolaan Limbah Medis di Puskesmas Kabupaten Aceh Timur," *J. Heal. Technol. Med.*, vol. 8, no. 1, pp. 216–227, 2022.
- [10] P. Pungut, M. Al Kholif, and A. A. P. N. Sugianto, "Pengaruh Tekanan Blower pada Proses Pembakaran Sampah Medis Menggunakan Insinerator Statis terhadap Kualitas Abu," *J. Serambi Eng.*, vol. 7, no. 1, pp. 2601–2606, 2021, doi: 10.32672/jse.v7i1.3821.
- [11] Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, "Teknologi Termal WtE Berbasis Proses Pembakaran (Insinerasi)," *Modul Pelatih.*, vol. 1, no. 09, pp. 1–124, 2018.
- [12] M. Saleh and A. Hedén Sandberg, "IMPLEMENTATION OF OXYFUEL COMBUSTION IN A WASTE INCINERATION CHP PLANT : A Techno-Economic Assessment," no. June, 2021.

	<p>I Made Pujanu Ary Shantika menyelesaikan studi di Universitas Udayana sejak tahun 2019 pada program sarjana jurusan Teknik Mesin. Topik penelitian yang diambil sebagai tugas akhir studi S1 mengenai performansi dari insinerator limbah medis.</p>
<p>Memiliki minat di bidang penelitian terkait topik-topik yang berkaitan dengan perpindahan panas dan topik yang berkaitan dengan termodinamika.</p>	
	<p>I Nyoman Suprpta Winaya adalah seorang profesor di Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik-Universitas Udayana. menerima gelar Sarjana dari Universitas Udayana tahun 1994, gelar Master dari Dalhousie University Kanada dan gelar Ph.D dari Niigata University Jepang.</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati terkait teknologi <i>fluidized bed, new and renewable energy</i>, pembakaran, gasifikasi, pirolisis, dan topik-topik yang berkaitan dengan manajemen energi.</p>	

Analisa Temperatur Pemotongan Pada Pembubutan AISI 304 Menggunakan Cairan Pendingin *Virgin Coconut Oil* (VCO) Dengan Metode *Minimum Quantity Lubrication* (MQL)

Made Aksamanika Putra, Tjokorda Gde Tirta Nindhia, dan I Gusti Komang Dwijana

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit, Jimbaran Bali

Abstrak

Dalam pemrosesan logam umumnya digunakan cairan pendingin yang berasal dari minyak bumi. Namun, penggunaan cairan pendingin dari minyak bumi memiliki dampak buruk terhadap lingkungan, seperti pencemaran tanah dan air, serta berpotensi menyebabkan masalah kesehatan seperti iritasi kulit, gangguan pernafasan, dan bahkan penyakit kanker. Oleh karena itu, beberapa metode telah dikembangkan untuk mengurangi penggunaan minyak bumi sebagai cairan pendingin dan mengurangi limbah yang dihasilkan. Salah satu alternatif cairan pendingin yang dapat digunakan adalah minyak nabati. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi penggunaan minyak nabati khususnya *Virgin Coconut Oil* (VCO) dengan metode *Minimum Quantity Lubrication* (MQL) sebagai cairan pendingin dalam proses pembubutan pada logam AISI 304. Proses pembubutan dilakukan dengan menggunakan mata potong carbide insert tipe DCMT070204, penelitian ini melibatkan tiga variasi kedalaman potong, yaitu 0,30mm, 0,60mm, dan 0,90mm. Spesimen yang digunakan memiliki diameter 1 inci dengan panjang 150mm, dan proses pembubutan dilakukan sepanjang 100mm dengan melakukan pengulangan sebanyak 3 kali untuk setiap variasi kedalaman potong. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan cairan pendingin *Virgin Coconut Oil* (VCO) dengan metode *Minimum Quantity Lubrication* (MQL) efektif dalam mendinginkan mata potong dan mencegah terjadinya overheating pada alat potong. Rata-rata temperatur pembubutan menggunakan cairan pendingin ini ditemukan lebih rendah sebesar 5,5%.

Kata Kunci: Proses pembubutan, cairan pendingin, system MQL

Abstract

In metal processing coolant fluids derived from petroleum are commonly used. However, the use of petroleum-based coolant fluids has detrimental effects on the environment, such as soil and water pollution, as well as potential health problems like skin irritation, respiratory disorders, and even cancer. Therefore, several methods have been developed to reduce the use of petroleum-based coolant fluids and minimize the resulting waste. One alternative coolant fluid that can be used is vegetable oil. The objective of this research is to evaluate the use of vegetable oil, particularly *Virgin Coconut Oil* (VCO), with the *Minimum Quantity Lubrication* (MQL) method as a coolant fluid in the turning process of AISI 304 metal. The turning process is performed using carbide insert cutting tools of the DCMT070204 type. This study involves three variations of cutting depths, namely 0.30mm, 0.60mm, and 0.90mm. Specimens with a diameter of 1 inch and a length of 150mm are used, and the turning process is conducted along a 100mm length with three repetitions for each cutting depth variation. The research results indicate that the use of *Virgin Coconut Oil* (VCO) as a coolant fluid with the *Minimum Quantity Lubrication* (MQL) method effectively cools down the cutting tools and prevents overheating. The average turning temperature using this coolant fluid was found to be 5.5% lower.

Keywords: Turning process, coolant, MQL system.

1. Pendahuluan

Dalam pemotongan logam umumnya operator juga menambahkan cairan pendingin atau biasa disebut *Metal Working Fluid* (MWF) untuk mengurangi gesekan, gram bekas pemotongan, menjaga suhu pemotongan, meningkatkan hasil pemotongan dan memberikan perlindungan terhadap karat [1].

Umumnya cairan pendingin berasal dari minyak bumi, namun cairan pendingin dari minyak bumi tidak ramah lingkungan juga memiliki dampak buruk seperti pencemaran tanah, pencemaran air serta memiliki dampak tidak baik bagi operator, operator mesin yang terpapar cairan pendingin yang berasal dari minyak bumi

dapat berpotensi menimbulkan penyakit seperti iritasi pada kulit, gangguan pernafasan hingga penyakit kanker, cairan pendingin yang berasal dari minyak bumi sulit terurai bahkan tidak dapat terurai dimana 50% cairan pendingin yang berasal dari minyak bumi merusak lingkungan akibat tumpahan atau kecelakaan.

Selain faktor keamanan terhadap lingkungan dan kesehatan, faktor ekonomi juga menjadi kelemahan cairan pendingin konvensional dimana perusahaan otomotif di Jerman menyatakan bahwa 7-17% biaya operasional cairan pendingin konvensional lebih besar dibandingkan biaya operasional yang menghabiskan biaya berkisar 2-4%, peningkatan biaya tersebut terjadi akibat peralatan extra untuk pengolahan, transportasi dan juga biaya penyaringan cairan pendingin yang telah digunakan.

Beberapa metode pendinginan dilakukan untuk dapat mengurangi penggunaan minyak bumi sebagai cairan pendingin dan juga mengurangi limbah dari cairan pendingin yang dihasilkan. *Minimum Quantity Lubrication (MQL)* atau *Small Quantity Lubrication (SQL)* merupakan salah satu metode yang dipertimbangkan untuk meningkatkan efektifitas cairan pendingin dan juga sekaligus mengurangi penggunaan minyak bumi sebagai cairan pendingin, dimana sejumlah cairan pendingin disemprotkan pada daerah pemotongan dengan bantuan udara bertekanan berkisar 10-100ml/jam [2].

Beberapa alternatif ditinjau sebagai cairan pendingin dimana minyak nabati menjadi salah satu alternatif cairan pendingin, pada pembubutan Inconel718 dengan Teknik MQL dengan minyak kelapa sawit dan zaitun dengan menambahkan zat aditif AI2HA13 menunjukkan minyak sawit lebih cocok mengurangi suhu pemotongan dan keausan mata potong [3], pembubutan AISI 1040 dengan minyak kelapa dan canola dimana minyak kelapa menghasilkan suhu pemotongan lebih baik [4].

Penggunaan minyak nabati dan *Minimum Quantity Lubrication (MQL)* dirasa sangat berpotensi sebagai alternatif cairan pendingin saat proses pemotongan logam, penelitian ini bertujuan mengetahui penggunaan VCO (*Virgin Coconut Oil*) dengan

metode *Minimum Quantity Lubrication (MQL)* sebagai cairan pendingin terhadap temperatur pemotongan pada pembubutan AISI304.

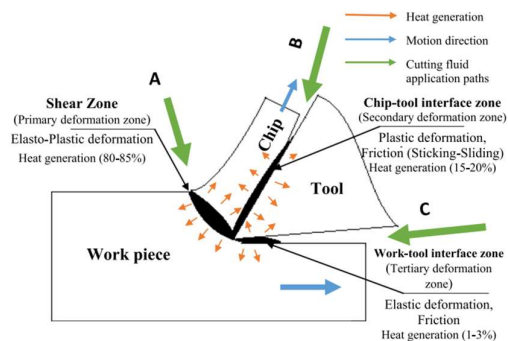
2. Dasar Teori

2.1. Minyak Nabati

Minyak nabati adalah minyak yang ramah lingkungan, terbaharukan terutama minyak yang tidak dapat dikonsumsi. Minyak nabati dibagi menjadi yang dapat dikonsumsi dan tidak dapat dikonsumsi, minyak nabati memiliki sifat pelumas yang baik dan terdiri dari trigliserida dengan rantai asam lemak yang panjang yang memberikan lapisan pelumas yang dapat mengurangi gesekan dan temperatur pemotongan [2].

2.2. Suhu Pemotongan

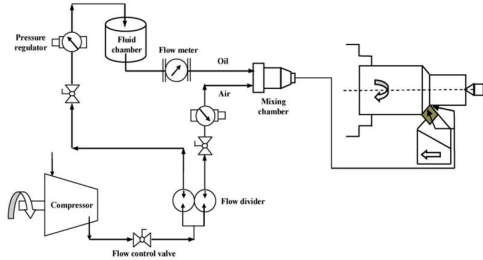
Dalam proses pemotongan logam panas berlebih dihasilkan akibat gesekan pada zona pemotongan. Menurut prinsip pemotongan logam, terdapat tiga zona deformasi yang mengalami pembentukan panas selama proses tersebut. Ketiga zona tersebut adalah zona deformasi primer, zona deformasi sekunder, dan zona deformasi tersier. Zona geser atau zona deformasi primer dianggap sebagai sumber utama panas yang dihasilkan selama proses pememesinan, area ini terletak di sekitar tepi mata potong dan melintang dari sambungan chip hingga permukaan benda kerja. Panas yang dihasilkan dalam zona geser kemudian mengalir melalui mekanisme perpindahan panas konveksi ke dalam chip bekas pemotongan dan mata potong yang digunakan [5].



Gambar 1. Proses terjadinya panas pada saat proses pemotongan logam

2.3. Minimum Quantity Lubrication (MQL)

Sistem (*Minimum Quantity Lubrication*), atau pelumasan hampir kering, dimana penggunaan jumlah cairan pendingin sangat sedikit dalam pemotongan logam. Dalam teknik ini, sejumlah kecil cairan pendingin yang digunakan, berkisar antara 10 hingga 100 ml per jam, berbeda dengan metode pelumasan banjir atau konvensional yang menggunakan cairan pendingin berkisar 30.000-60.000 ml/jam [2].



Gambar 2. Skema sistem cara kerja metode pendinginan MQL

3. Metode penelitian

Pengujian dilakukan dengan melakukan proses pembubutan pada material AISI 304 menggunakan sistem *Minimum Quantity Lubrication* (MQL) dan cairan pendingin *Virgin Coconut Oil* (VCO), proses pembubutan akan dilakukan sepanjang 100mm dimana setiap variasi kedalaman potong akan dilakukan pengulangan proses pembubut sebanyak 3 kali untuk mendapat nilai rata-rata setiap spesimen, adapun kondisi pemotongan dijelaskan lebih lanjut dalam Tabel 1.

Tabel 1. Kondisi Pemotongan proses pembubutan.

Kondisi Pemotongan	Deskripsi
Mesin	Mesin opti-trun TU2807
Spesimen	AISI 304
Dimensi spesimen	(Ø25.4mm - 150 mm)
Mata potong	DCMT 070204
Pemegang alat	SDJCR 1210D07
Kedalaman potong	0.30mm, 0.60mm, 0.90mm
Kecepatan spindel	500rpm
Gerak makan	100m/min
Cairan pendingin	Kering dan VCO

3.2. Alat

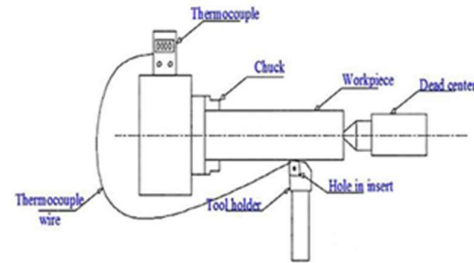
Untuk menunjang penelitian alat yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Sistem *Minimum Quantity Lubrication* (MQL) yang digunakan dengan tipe HYCNC-3000 dan kompresor dengan kapasitas tekanan 8bar.



Gambar 4. Sistem Minimum Quantity Lubrication (MQL)

2. *Termocouple* digunakan sebagai pengukur suhu pemotongan pada proses pembubutan.

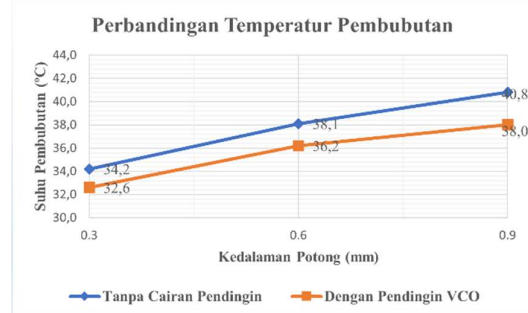


Gambar 5. Skema Pemasangan Sensor Termocouple

3.3. Bahan

Bahan pada penelitian ini adalah AISI304, mata potong karbida DCMT070204 buatan Mitsubishi, dan *Virgin Coconut Oil* (VCO) sebagai cairan pendingin.

4. Pembahasan



Gambar 4. Grafik perbandingan temperatur pemotongan dengan menggunakan pendingin VCO dan tanpa cairan pendingin.

Gambar 4 menunjukkan perbandingan pengaruh kedalaman potong terhadap temperatur selama proses pembubutan dengan menggunakan cairan pendingin virgin coconut oil (VCO) dibandingkan tanpa menggunakan cairan pendingin, dimana terlihat bahwa temperatur pemotongan tanpa menggunakan cairan pendingin cenderung lebih besar dibandingkan dengan menggunakan cairan pendingin virgin coconut oil (VCO) yang lebih rendah, hal ini menunjukkan bahwa penggabungan metode minimum quantity lubrication (MQL) dengan cairan pendingin virgin coconut oil (VCO) mampu menjadi media pendingin yang baik untuk mendinginkan pahat pada zona pemotongan dan mencegah overheating pada alat potong selama proses pemotong.

5. Kesimpulan

Dari pengujian dilakukan penggunaan cairan pendingin Virgin Coconut Oil (VCO) menggabungkan *Minimum Quantity Lubrication* (MQL) mampu memberikan pelumas sekaligus mendinginkan mata potong pada zona pemotongan dan mencegah overheating pada alat potong, dimana rata-rata temperatur pembubutan ditemukan 5,5% lebih rendah dibandingkan tanpa menggunakan cairan pendingin.

6. Daftar Pustaka

- [1] A. Sharma and R. Kumar, “**Potential use of minimum quantity lubrication (MQL) in machining of biocompatible materials using environment friendly cutting fluids: An overview,**” in *Materials Today: Proceedings*, Elsevier Ltd, 2021, pp. 5315–5319. doi: 10.1016/j.matpr.2021.01.904.
- [2] M. H. S. Elmunafi, N. Mohd Yusof, and D. Kurniawan, “**Effect of cutting speed and feed in turning hardened stainless steel using coated carbide cutting tool under minimum quantity lubrication using castor oil,**” *Advances in Mechanical Engineering*, vol. 7, no. 8, pp. 1–7, Aug. 2015, doi: 10.1177/1687814015600666.
- [3] J. J. Teo, E. U. Olugu, S. P. Yeap, A. M. Abdelrhman, and O. C. Aja, “**Turning of Inconel 718 using Nano-Particle based vegetable oils,**” in *Materials Today: Proceedings*,

Elsevier Ltd, 2020, pp. 866–870. doi: 10.1016/j.matpr.2021.02.480.

- [4] V. P. Krishna, S. Mahith, and S. Kumar, “**Influence of Green Nanocutting Fluids on Machining Performance Using Minimum Quantity Lubrication Technique,**” 2019. [Online]. Available: www.sciencedirect.comwww.materials today.com/proceedings
- [5] M. B. N. Shaikh and M. Ali, “**Turning of steels under various cooling and lubrication techniques: A review of literature, sustainability aspects, and future scope,**” *Engineering Research Express*, vol. 3, no. 4, Dec. 2021, doi: 10.1088/2631-8695/ac2e10.

	Made Aksamanika Putra mahasiswa S1 Teknik Mesin di Universitas Udayana tahun 2019, dengan topik penelitian mengenai penggunaan minyak nabati sebagai cairan pendingin.
Bidang penelitian berkaitan dengan rekayasa manufaktur, dan material	

Kajian Kebutuhan Bahan Bakar Gas Pada Insinerator Limbah Medis *Dual Chamber* Dengan Variasi Laju Volume Injeksi Oksigen Dan Penambahan Injeksi Air

Nyoman Sadhu Waskita, I Nyoman Suprpta Winaya, I Wayan Arya Darma, I Putu Angga Yuda Pratama

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit, Jimbaran Bali

Abstrak

Penelitian ini melakukan proses insinerasi limbah medis pada insinerator limbah medis dual chamber dengan penginjeksian oksigen dan penambahan injeksi air di ruang bakar kedua. Penelitian ini memvariasikan laju aliran volume oksigen yaitu 4, 6, 8 dan 10 L/menit dengan limbah medis seberat 1 kg, dimana penelitian ini bertujuan untuk mengetahui laju konsumsi bahan bakar gas LPG selama pembakaran. Proses insinerasi ini dilakukan dengan temperatur ruang bakar pertama 800°C dan temperatur ruang bakar kedua 1000°C. Hasil yang didapat menunjukkan semakin meningkat laju aliran volume oksigen maka laju konsumsi bahan bakar gas LPG yang dibutuhkan semakin menurun, dimana laju konsumsi bahan bakar gas paling optimal ditemukan pada variasi laju aliran volume oksigen 8 L/menit yaitu sebesar 6,5 kg/jam

Kata Kunci: Insinerator Dual Chamber Fix Grate, Oxy-fuel, Injeksi Air

Abstract

This study conducted the process of medical waste incineration in a dual-chamber medical waste incinerator with oxygen injection and the addition of water injection in the second combustion chamber. The study varied the oxygen flow rate at volumes of 4, 6, 8, and 10 L/minute, using medical waste weighing 1 kg. The aim of this research was to determine the consumption rate of LPG gas fuel during combustion. The incineration process was carried out with a temperature of 800°C in the first combustion chamber and 1000°C in the second combustion chamber. The results obtained indicate that as the flow rate of oxygen volume increases, the consumption rate of LPG gas fuel required decreases. The optimal consumption rate of fuel gas was found at a variation of oxygen volume flow rate of 8 L/minute, which amounted to 6.5 kg/hour.

Keywords: Dual Chamber Fixed Grate Incinerator, Oxy-fuel, Water Injection

1. Pendahuluan

Di dunia kesehatan sampah medis adalah salah satu jenis limbah B3 yang sifatnya berbahaya dan dapat berpotensi menimbulkan penyakit jika tidak diolah dengan baik. Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun diatur dalam PP nomor 101 tahun 2014, dimana pengolahan limbah B3 harus dilakukan dengan kewaspadaan dan menggunakan metode yang aman dan ramah lingkungan serta perlu mendapat perhatian khusus dari limbah itu dihasilkan, disimpan hingga limbah itu dimusnahkan [1].

Salah satu contoh cara mengurangi jumlah limbah medis yang tergolong ke dalam limbah B3 ini adalah dengan cara membakarnya yaitu menggunakan Insinerator. Insinerasi adalah proses pembakaran limbah

yang mengubahnya menjadi panas, abu, dan gas buang. Proses ini mengurangi massa limbah sebesar 80-85% dan volume sebesar 95-96% [2].

Selain beberapa keunggulan yang disebutkan sebelumnya, metode insinerasi juga menghadapi beberapa tantangan. Salah satunya adalah volume gas buang yang dihasilkan dari proses pembakaran yang besar dan berpotensi berbahaya. Gas buang yang dihasilkan melalui metode ini termasuk logam berat dan karbon monoksida (CO) [3][4]. Dalam upaya untuk meningkatkan efisiensi pembakaran dan mengurangi emisi, teknologi pembakaran *Oxy-fuel* dapat menjadi solusi yang efektif. *Oxy-fuel combustion* sering digunakan dalam sistem pembangkit daya, di mana bahan bakar tidak bercampur dengan

udara, melainkan dengan oksigen (O_2) hampir murni untuk menghasilkan CO_2 dan meningkatkan suhu pembakaran [5].

Penelitian-penelitian terkait menunjukkan bahwa penggunaan *oxy-fuel combustion* dalam proses pembakaran dapat meningkatkan efisiensi termal. Dengan menggunakan oksigen murni sebagai agen oksidasi daripada udara, pembakaran *oxy-fuel* menghasilkan gas buang dengan konsentrasi CO_2 yang tinggi. Hal ini mengakibatkan proses pembakaran menjadi lebih efisien, sehingga meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem. Temuan ini menjelaskan bahwa teknologi *oxy-fuel* efektif dalam mengurangi emisi gas buang pembakaran dan dapat mengurangi konsumsi bahan bakar gas [6].

Water Injection atau *Anti Detonant Injection* (ADI) adalah metode yang digunakan dalam mesin pembakaran internal, di mana air ditambahkan ke dalam silinder atau campuran bahan bakar yang masuk. Tujuannya adalah untuk mengendalikan suhu dan meningkatkan rasio kompresi [7]. Dimana pada penginjeksian sampel *pure H₂O* dan AE10 yaitu Air (90%) Etanol (10%) menghasilkan emisi gas CO yang paling rendah yaitu 0,05%,. Secara keseluruhan penginjeksian campuran udara murni, udara/metanol, dan udara/etanol pada pembakaran secara keseluruhan memiliki dampak positif terhadap emisi mesin dengan mengurangi emisi gas CO [8].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mereduksi limbah medis secara maksimal dengan konsumsi bahan bakar gas yang rendah. Dengan demikian, penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan laju aliran volume oksigen dan penambahan injeksi air pada ruang bakar kedua dari insinerator limbah medis *dual chamber*, dengan berfokus pada hasil dari laju konsumsi bahan bakar gas LPG. Untuk mencapai tujuan yang diinginkan dalam mengatasi permasalahan tersebut, maka dilakukan pembatasan masalah yang mencakup:

1. Proses insinerasi limbah medis *dual chamber* menggunakan insinerator limbah medis *dual chamber* yang berkapasitas bahan bakar padat sebesar 38,8 kg.

2. Kecepatan udara pada *blower* diasumsikan konstan sepanjang percobaan
3. Kondisi lingkungan pada saat melakukan penelitian diasumsikan *steady state*
4. Oksigen yang diinjeksikan ke dalam ruang bakar kedua hanya pada satu titik.
5. Toleransi deviasi atau *error* dari nilai kecepatan udara *blower* pembakaran yang diizinkan berada pada rentang 0,01 – 0,2 m/s.

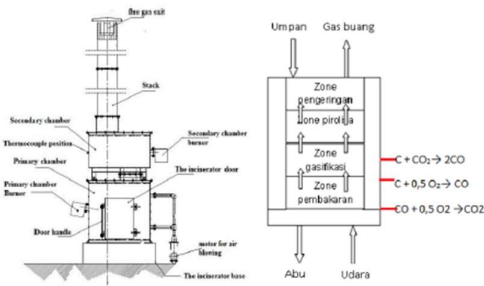
2. Dasar Teori

2.1. Limbah Medis

Limbah medis adalah sisa material dari layanan medis yang berasal dari rumah sakit, klinik, laboratorium medis, puskesmas, dan klinik hewan. Biasanya, limbah medis mengandung bahan beracun, infeksius, dan berbahaya. Mayoritas limbah medis termasuk dalam kategori Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) sesuai dengan peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI Nomor 56 Tahun 2015. Limbah medis B3 meliputi limbah infeksius, benda tajam, patologis, bahan kimia kadaluarsa, tumpahan atau sisa kemasan, radioaktif, farmasi, sitotoksik, peralatan medis dengan kandungan logam berat dan tinggi, serta tabung gas atau kontainer bertekanan [9].

2.2. Insinerator *Fixed Grate*

Insinerasi adalah proses oksidasi termal limbah padat yang dilakukan dalam suatu alat pembakaran yang disebut insinerator. Tipe insinerator yang umum digunakan adalah tipe *fixed grate*, di mana *grate* yang tidak bergerak terletak di bagian bawah insinerator dengan bukaan di bagian atas atau samping untuk memasukkan sampah, serta bukaan lain untuk memindahkan bahan yang tidak terbakar seperti abu dan logam. Di bagian bawah *grate* atau piringan terdapat *ash pit* yang berfungsi sebagai tempat penampungan abu [10].



Gambar 1. Skematik insinerator fixed grate
2.3. Oxyfuel Combustion

Pembakaran *oxy-fuel* adalah proses pembakaran bahan bakar di dalam lingkungan yang kaya akan nitrogen (N) dan karbon dioksida (CO₂), dengan menggunakan oksigen yang hampir murni dengan konsentrasi melebihi 95%. Oksigen tersebut dapat diperoleh melalui pemisahan O₂ dari udara atau melalui unit pemisahan oksigen dari air (ASU), atau melalui metode kriogenik untuk memisahkan oksigen dari udara. Tujuan dari pembakaran dengan oksigen murni adalah menghasilkan gas buang yang terutama terdiri dari CO₂ dan H₂O (pembakaran yang sempurna), sehingga memungkinkan untuk memisahkan atau menangkap CO₂ dari gas buang [11].

3. Metode penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental untuk mempelajari pengaruh variabel tertentu terhadap variabel lainnya. Pengujian dilakukan dengan menggunakan limbah medis seberat 1 kg dan memvariasikan laju aliran volume oksigen pada tingkat 4 L/menit, 6 L/menit, 8 L/menit, dan 10 L/menit. Pengujian insinerator pada temperatur ruang bakar pertama sebesar 800°C dan ruang bakar kedua sebesar 1000°C, serta kecepatan udara blower sebesar 10 m/s..

3.1. Alat

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

1. Insinerator limbah medis *dual chamber fix grate*
2. Anemometer berfungsi dalam mengukur dan mengendalikan kecepatan udara pada blower.
3. Timbangan digunakan untuk menimbang berat pada tabung gas LPG, limbah medis, dan juga abu.
4. Flowmeter digunakan untuk mengukur laju aliran volume dari oksigen.

5. *Timer* digunakan untuk mengukur lama waktu proses insinerasi.

6. Laptop berfungsi sebagai perangkat untuk menampilkan dan menyimpan data suhu yang direkam oleh *data logger*.

3.2. Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah medis, oksigen dan gas LPG.

4. Hasil dan Pembahasan

Data yang didapat dari penelitian menunjukkan kebutuhan bahan bakar gas tertinggi terdapat pada variasi laju volume oksigen 8 L/menit yaitu sebesar 0,65 kg selama 6 menit, sedangkan kebutuhan bahan bakar gas terendah diperoleh pada variasi laju aliran volume oksigen 10 L/menit dengan nilai sebesar 0,634 kg selama 5 menit 50 detik. Dengan menggunakan data yang telah diperoleh, maka selanjutnya data tersebut bisa digunakan untuk menghitung hasil dari laju konsumsi bahan bakar gas. Hasil dari perhitungan menunjukkan seiring meningkatnya laju aliran oksigen, maka laju konsumsi bahan bakar gas semakin rendah. Laju konsumsi bahan bakar gas terendah dicapai pada variasi laju aliran volume oksigen 8 L/menit dengan nilai sebesar 6,5 kg/jam, hal tersebut disebabkan karena dengan meningkatnya laju aliran volume oksigen maka pembakaran yang terjadi pada ruang bakar kedua juga lebih optimal yang mengakibatkan puncak temperatur pada ruang bakar kedua juga semakin tinggi sehingga waktu mati *burner* pada ruang bakar kedua lebih lama karena temperatur telah melebihi dari temperatur kontrol yang berdampak pada berkurangnya konsumsi bahan bakar gas LPG.

5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa laju aliran volume oksigen memiliki pengaruh terhadap laju konsumsi bahan bakar gas LPG. Semakin tinggi laju aliran volume oksigen, maka laju konsumsi bahan bakar gas LPG semakin menurun karena disebabkan waktu mati burner yang lebih lama akibat puncak temperatur yang tinggi. Pada variasi laju aliran volume oksigen sebesar 8 L/menit, didapat laju konsumsi bahan bakar gas LPG terendah sebesar 6,5 kg/jam. Dengan demikian, hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi laju

aliran volume oksigen dapat mengurangi kebutuhan konsumsi bahan bakar gas LPG pada *burner* selama proses insinerasi limbah medis pada insinerator.

Daftar Pustaka

[1] Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 101, “**Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun,**” 2014.

[2] P. G. Nidoni, “**Incineration Process For Solid Waste Management And Effective Utilization Of By Products,**” *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 04, no. 12, pp. 378–382, 2017, [Online]. Available: www.irjet.net

[3] M. Yuliani, “**Incineration for Municipal Solid Waste Treatment,**” *J. Rekayasa Lingkungan.*, vol. 9, no. 2, pp. 89–96, 2016, doi: 10.29122/jrl.v9i2.1997.

[4] Yusrizal and M. Qadri, “**Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Kapasitas 1000 WATT dengan Proses Insinerasi,**” *Semdi Unaya*, vol. 2017, no. November, pp. 212–222, 2017.

[5] R. Stanger *et al.*, “**Oxyfuel combustion for CO2 capture in power plants,**” *Int. J. Greenh. Gas Control*, vol. 40, pp. 55–125, 2015, doi: 10.1016/j.ijggc.2015.06.010.

[6] S. J. Self, M. A. Rosen, and B. V. Reddy, “**Effects of Oxy-Fuel Combustion on Performance of Heat Recovery Steam Generators,**” *Eur. J. Sustain. Dev. Res.*, vol. 2, no. 2, pp. 1–11, 2018, doi: 10.20897/ejodr/69787.

[7] A. Boretti, “**Water injection in directly injected turbocharged spark ignition engines,**” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 52, no. 1, pp. 62–68, 2013, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2012.11.016.

[8] J. Marbun and D. Dahlan, “**Analisis Sistem Injeksi Air/Metanol Dan Air/Etanol Terhadap Konsumsi Bahan Bakar dan Emisi Gas buang,**” *J. Tek. Mesin ITI*, vol. 5, no. 1, pp. 109–115, 2020, doi: 10.31543/jtm.v4i3.518.

[9] M. Y. Yusti and O. Endriar, “**Evaluasi Operasional Sistem Pengelolaan Limbah Padat Medis Di Rumah Sakit Garut,**” *Envirosan*, vol. 2, no. 1, pp. 1–6, 2019.

[10] Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, “**Teknologi Termal WtE Berbasis Proses Pembakaran (Insinerasi),**” *Modul Pelatih.*, vol. 1, no. 09, pp. 1–124, 2018.

[11] M. Saleh and A. Hedén Sandberg, “**Implementation Of Oxyfuel Combustion In A Waste Incineration Chp Plant: A Techno-Economic Assessment,**” no. June, 2021, [Online]. Available: <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1575012&dswid=-2997>

[12] R. Febyanasari, “**Studi Numerik Karakteristik Aliran Dan Pembakaran Pada Tangentially Fired Pulverized Coal Boiler Dengan Menggunakan Oxy-Fuel Pada Kasus Coal Blending Antara Medium Rank Coal (MRC) Dan Low Rank Coal (LRC),**” pp. 1–117, 2014.

	<p>Nyoman Sadhu Waskita adalah seorang mahasiswa di Universitas Udayana sejak tahun 2019, dengan program studi sarjana Teknik Mesin. Sebagai tugas akhir studi S1, fokus penelitian adalah mengenai performansi insinerator limbah medis.</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati terkait teknologi mesin pembakaran dalam dan termodinamika</p>	

	<p>I Nyoman Suprpta Winaya merupakan seorang profesor di Program Studi Teknik Mesin, yang berada di Fakultas Teknik, Universitas Udayana. Meraih gelar Sarjana dari Universitas Udayana pada tahun 1994, gelar Master dari Dalhousie University di Kanada, dan gelar Ph.D. dari Niigata University di Jepang.</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati adalah <i>new and renewable energy</i>, teknologi <i>fluidized bed</i>, pembakaran, gasifikasi, pirolisis dan <i>energy management</i></p>	

SIMULASI PENGGUNAAN *ROUNDING FRONT HOOD* KENDARAAN TERHADAP POLA ALIRAN DAN DISTRIBUSI KOEFSISIEN TEKANAN PADA *UPPERSIDE* KENDARAAN MODEL

Pajar Doli Soripada Marbun, Anak Agung Adhi Suryawan, I Made Gatot
Karahika

Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Kendaraan telah menjadi kebutuhan sehari-hari, hal ini menyebabkan tingginya permintaan kendaraan, dengan demikian konsumsi bahan bakar mengalami peningkatan sedangkan, bahan bakar minyak merupakan sumber daya tak terbarukan. Pembaharuan pada kendaraan agar lebih hemat bahan bakar sangat diperlukan guna menghemat bahan bakar minyak. Salah satunya pada *rounding front hood* kendaraan yang ditujukan untuk mengurangi vortex pada aliran udara yang melewati mobil dan mendapatkan koefisien hambat, serta melihat distribusi tekanan pada *upperside* kendaraan yang banyak terkena tekanan oleh aliran udara. Gaya-gaya aerodinamis suatu kendaraan salah satunya ditimbulkan oleh adanya tekanan pada permukaan bodi. Penelitian ini menggunakan simulasi pada CFD dengan menggunakan model kendaraan sedan yang divariasikan pada *rounding front hood*, dengan variasi tanpa *rounding* dan 400 mm *rounding*. Model kendaraan disimulasikan dengan kecepatan 80 km/h. Hasil menunjukkan pola aliran udara yang melewati kendaraan *rounding* masih terdapat besarnya *forward bound vortex* pada bagian depan kendaraan sedangkan pada kendaraan model dengan 400 mm *rounding* lebih sedikit sehingga koefisien hambat yang didapat lebih kecil dari pada kendaraan model tanpa *rounding* dengan selisih koefisien hambat sebesar 0,10232696. Terjadi titik stagnasi pada model kendaraan tanpa *rounding* dan kendaraan dengan 400 mm *rounding* pada $x=0$, terjadi *separation point* pada $x=0,1$ pada kendaraan tanpa *rounding* dan pada $x=1,825$ pada kendaraan 400 mm *rounding*.

Kata kunci: Computational Fluid Dynamics, Koefisien hambat, Koefisien Tekanan, Pola Aliran Udara

Abstract

Vehicles have become a daily necessity, leading to a high demand for vehicles. Consequently, fuel consumption has increased, while oil fuel is a non-renewable resource. Therefore, innovations in vehicles to achieve fuel efficiency are highly needed in order to save oil fuel. One of these innovations is the rounding of the front hood of a vehicle, aimed at reducing vortexes in the airflow passing through the car and minimizing drag coefficients. It also involves examining the pressure distribution on the upper side of the vehicle, which experiences significant pressure from the airflow. The aerodynamic forces on a vehicle are partly caused by pressure on the body surface. This study utilizes Computational Fluid Dynamics (CFD) simulations using a sedan vehicle model, with variations in the rounding of the front hood, including no rounding and a 400 mm rounding. The vehicle models are simulated at a speed of 80 km/h. The results indicate that the airflow pattern passing through the rounding vehicle still exhibits a significant forward bound vortex at the front, whereas the vehicle model with a 400 mm rounding has a reduced forward bound vortex. As a result, the drag coefficient obtained is smaller than that of the vehicle model without rounding, with a difference in drag coefficient of 0.10232696. Stagnation points occur in the vehicle model without rounding and the vehicle with a 400 mm rounding at $x=0$, while separation points occur at $x=0.1$ in the vehicle without rounding and at $x=1.825$ in the vehicle with a 400 mm rounding.

Keywords: Computational Fluid Dynamics, Drag Coefficient, Pressure Coefficient, Airflow Patterns

1. Pendahuluan

Kendaraan telah menjadi kebutuhan sehari-hari, hal ini menyebabkan tingginya permintaan kendaraan di negara ini, oleh karena itu konsumsi bahan bakar minyak di Indonesia meningkat, mengingat bahan bakar minyak adalah sumber daya tak terbarukan maka ketersediaannya di Indonesia akan semakin berkurang setiap tahunnya. Sehingga untuk menghemat bahan bakar minyak perlu dilakukan pembaharuan pada kendaraan agar konsumsi bahan bakarnya lebih hemat. Beberapa metode dapat digunakan untuk pengujian, salah satunya pengujian eksperimental di dalam *wind tunnel*, namun metode ini membutuhkan waktu dan biaya yang cukup besar. Sehingga muncul pertimbangan untuk memanfaatkan

komputasi dan simulasi numerik sebagai solusi terhadap permasalahan ini dengan pertimbangan kecepatan dalam memperoleh data dan biaya yang lebih ringan.

Berbagai peningkatan telah dilakukan pada kendaraan bermotor, hal ini dilakukan akibat tuntutan efisiensi bahan sumber daya, optimasi pada bodi kendaraan menjadi salah satunya. Akan tetapi, hasil dari menggunakan metode simulasi tidak dapat menjadikan hasil yang didapatkan menjadi acuan dikarenakan diperlukan juga metode eksperimen yang lebih aktual untuk dijadikan pembanding dari hasil analisa. Pada penelitian kali ini, dikarenakan terbatasnya biaya dan waktu maka penelitian akan dilakukan dengan menggunakan metode simulasi

dengan CFD. Berdasarkan hal di atas penulis ingin melakukan penelitian tentang pengaruh *rounding front hood* pada kendaraan model terhadap pola aliran, koefisien hambat dan distribusi koefisien tekanan, dengan variasi jari-jari *rounding* pada *front hood* kendaraan model menggunakan metode simulasi pada software Ansys workbench.

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

1. Bagaimana pola aliran udara yang melewati bodi dan koefisien *drag* pada kendaraan model, tanpa dan dengan 400 mm *rounding front hood*?
2. Bagaimana distribusi koefisien tekanan pada *upperside* bodi kendaraan model, tanpa dan dengan 400 mm *rounding frond hood*?

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah untuk Mengetahui pola aliran udara yang melintasi bodi dan mendapatkan nilai koefisien *drag* (cd) pada kendaraan model, tanpa dan dengan variasi *rounding front hood* dan mengetahui distribusi tekanan *upperside* pada bodi mobil, tanpa dan dengan variasi *rounding front hood*. Untuk membatasi masalah yang begitu luas maka dibuat batasan masalah.

Beberapa batasan ditetapkan dalam penelitian ini meliputi:

1. Fluida yang mengalir adalah udara yang diasumsikan dalam keadaan steady.
2. Temperatur udara diasumsikan konstan.
3. Distribusi koefisien tekanan diambil pada *upperside* bodi kendaraan model.
4. Kecepatan udara yang digunakan yaitu 80 km/h.

2. Dasar Teori

Aerodinamika terjadi karena adanya aliran fluida pada suatu bodi. Akibat terdapatnya fluida yang mengalir maka suatu bodi akan mendapatkan gaya tekan dan geser. *Drag* pada sebuah benda dibagi menjadi dua macam, yaitu *drag* gesekan yang diakibatkan oleh gaya gesek dan *drag* tekan yang diakibatkan oleh tekanan. Koefisien *drag* (*CD*) ialah koefisien hambatan aerodinamik yang dipengaruhi oleh faktor bentuk dan kehalusan permukaan kendaraan. *Coefficient of Drag*, dapat dituliskan sebagai berikut:

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2}\rho v^2 A} \quad (1)$$

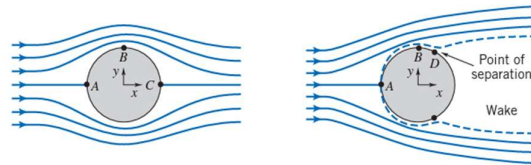
Maka benda yang berbentuk seperti mobil. Semakin besar nilai *CD* maka semakin besar pula hambatan aerodinamiknya.

Koefisien tekanan (*Cp*) adalah selisih antara tekanan statis pada kontur lokal dengan tekanan statis *free stream* dibagi dengan tekanan dinamis pada *free-stream*. Secara umum persamaan koefisien tekanan adalah sebagai berikut :

$$C_p = \frac{P_c - P_\infty}{q} \quad (2)$$

Suatu Aliran yang melewati benda *streamline* akan mengalami penurunan tekanan (*pressure drop*) yang sebagian besar disebabkan oleh hambatan gesekan permukaan (*friction drag*). untuk aliran yang melintasi

benda tumpul maka hambatan bentuk (*form drag*) akan berpengaruh besar terhadap penurunan tekanan dibandingkan hambatan gesekan permukaan. Berpisahannya aliran yang menghalangi menutupnya garis-garis aliran menyebabkan timbulnya hambatan bentuk atau hambatan tekanan (*pressure drag*), sehingga daerah tekanan rendah dibelakang benda terbentuk



Gambar 1 Separasi Aliran Melewati benda

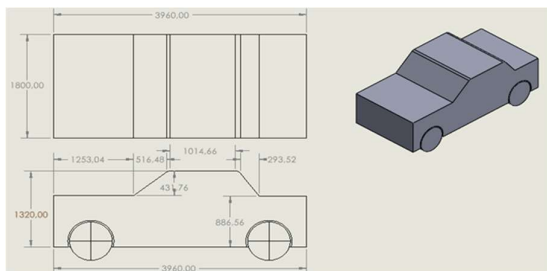
Lapisan batas timbul di permukaan benda dikarenakan sifat viskositas dari fluida yang cenderung menempel pada permukaan. Aliran pada bodi atau *streamline* adalah garis-garis yang dalam sebuah medan kecepatan yang berbentuk sedemikian rupa, sehingga mengikuti arah aliran di setiap titik di medan aliran tersebut. Maka pola aliran udara di sekitar kendaraan akan terbentuk.

Computational Fluid Dynamics atau CFD adalah salah satu metode untuk menganalisa sistem yang melibatkan aliran fluida, perpindahan panas dan fenomena fisik lainnya berdasarkan simulasi di komputer. Pada saat ini, CFD banyak digunakan dalam mencari solusi, terutama pada bidang mekanika fluida. Teknologi CFD sering digunakan untuk menjelaskan hasil yang didapatkan dari pendekatan analitis dan eksperimen. Simulasi pada CFD terdiri dari tiga tahapan proses pengerjaan, yaitu *preprocessing* (geometri dan *meshing*) kemudian Tahap CFD *solver* (parameter pemodelan) dan *postprocessing*.

3. Metode Penelitian

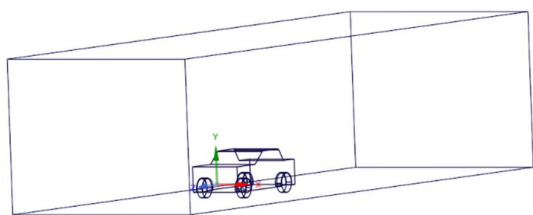
Penelitian ini sepenuhnya dilakukan di Lab Komputer PSTM-FT-Universitas Udayana, Bali

Penelitian ini dikerjakan dengan menggunakan simulasi pada software CFD (*Computational Fluid Dynamic*) Pada penelitian ini penulis melakukan penelitian tentang simulasi penggunaan *rounding front hood* terhadap pola aliran dan distribusi koefisien tekanan pada *upperside* kendaraan model, dengan menggunakan variasi jari-jari pada bagian *rounding front hood* kendaraan model. Geometri yang digunakan dalam penelitian ini adalah model 3D kendaraan tipe sedan dengan menggunakan *ANSYS Fluent 21.2*. Adapun geometri dan dimensi dari model kendaraan yang telah dibuat dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2 Ukuran Kendaraan model

Setelah menentukan geometri selanjutnya adalah membuat *computational domain* untuk kendaraan model pada ANSYS.



Gambar 3 Domain Pemodelan Mobil

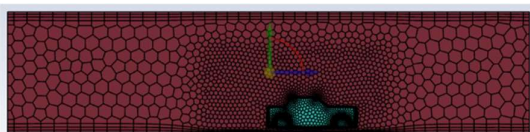
3.1. Parameter Pemodelan

Dalam penelitian ini digunakan model k-omega SST untuk memprediksi laju penyebaran fluida dengan harapan mendapatkan hasil yang akurat. Material yang digunakan pada penelitian ini adalah udara dengan densitas 1,225 kg/m³ dan viskositas 1,7894x10⁻⁵ kg/m.s. Kondisi batas digunakan pada *inlet*, *outlet*, *symmetry* dan *wall*. Pada *inlet* ditetapkan sebagai *velocity inlet* dan diberikan kecepatan sebesar 22,22 m/s. Sedangkan pada outlet adalah *pressure-outlet*. Kondisi pada batas dinding atas, samping kanan, bawah dan bodi kendaraan adalah *wall*. Solusi yang digunakan pada penelitian ini menggunakan *coupled*. Konvergensi dalam penelitian ini ditentukan hingga iterasi mencapai nilai residual yang diinginkan yaitu iterasi dinyatakan telah konvergen setelah residualnya mencapai harga 10⁻⁶ atau konstan.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Meshing

Pada bagian domain, kendaraan model di mesh dengan metode *poly-hexcore*, setelah konsep mesh telah ditentukan akan dilakukan tahapan meshing pada model mobil dan *body of influence*. Setelah melakukan meshing dilakukan pengecekan terhadap kualitas mesh.



Gambar 4. Mesh pada mobil model dan domain pemodelan

Didapatkan rata-rata kualitas mesh sebesar 0,8942123 dengan metode orthogonal, yang menandakan *mesh* sudah bagus.

4.2. Hasil Simulasi

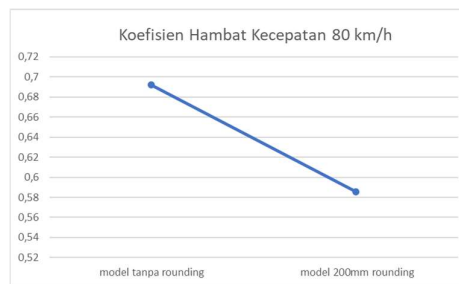
Setelah dilakukan meshing, memasukan parameter dan melakukan simulasi maka didapatkan hasil. Berikut merupakan hasil dari simulasi. Nilai koefisien hambat mobil model tanpa dan dengan variasi *rounding* dengan kecepatan 80km/h .

Tabel 1. Koefisien Hambat Kendaraan Model tanpa *Rounding*

Kecepatan	Koefisien Hambat
80km/h	0,68619

Tabel 2. Koefisien Hambat Kendraaan Model 400 mm *Rounding*

Kecepatan	Koefisien Hambat
80km/h	0,58386



Gambar 5. Grafik Koefisien Hambat

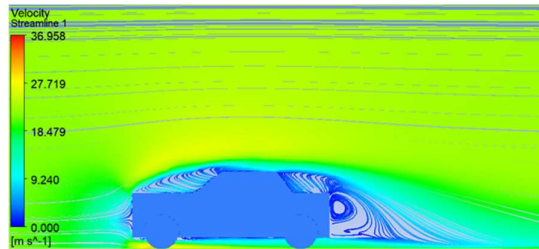
Koefisien drag dapat dihitung dengan persamaan 2.1

$$CD = \frac{FD}{\frac{1}{2} \rho V^2 A} = \frac{256,40018}{\frac{1}{2} \cdot 1,225 \cdot 22,22^2 \cdot 1,2356} = 0,68619$$

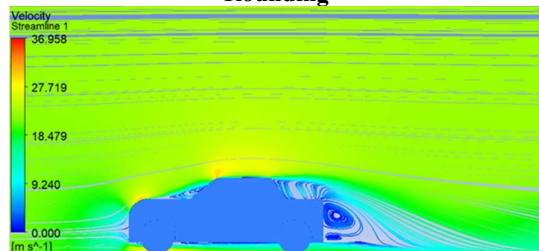
$$CD = \frac{FD}{\frac{1}{2} \rho V^2 A} = \frac{218,16508}{\frac{1}{2} \cdot 1,225 \cdot 22,22^2 \cdot 1,2356} = 0,58386$$

Terjadi penurunan koefisien hambat pada kendaraan model yang menggunakan *rounding* 400 mm pada bagian *upperside* sebesar 0,10232696 pada kecepatan aliran udara 80 km/h yang menandakan kendaraan model dengan *rounding* 400 mm lebih aerodinamis daripada kendaraan tanpa *rounding front hood*.

4.2. Pola Aliran Udara Kendaraan Model



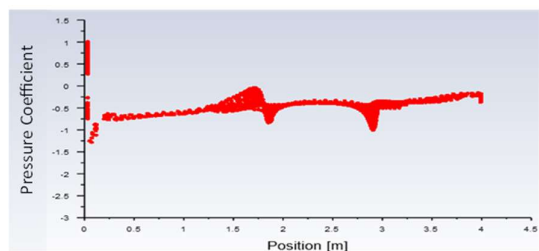
Gambar 6. Pola Aliran Udara Kendaraan Tanpa Rounding



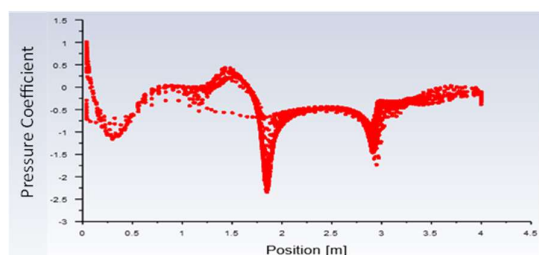
Gambar 7. Pola Aliran Udara Kendaraan 400 mm Rounding

Pada gambar 6 dan 7 adalah visualisasi pola aliran udara yang melewati kendaraan model, model kendaraan tanpa *rounding* memiliki kecepatan aliran tertinggi sebesar 31,593 m/s, sedangkan kendaraan dengan *rounding* 400 mm memiliki kecepatan aliran tertinggi sebesar 36,561. Model kendaraan tanpa *rounding* terlihat terdapat *forward bound vortex* yang cenderung lebih banyak dari pada kendaraan model dengan *rounding* 400 mm.

4.3 Distribusi Koefisien Tekanan pada Kendaraan Model



Gambar 8. Distribusi Koefisien Tekanan pada *Upperside* Kendaraan Model Tanpa *Rounding*



Gambar 8. Distribusi Koefisien Tekanan pada *Upperside* Kendaraan Model 400 mm *Rounding*

Pada $x=0$ terjadinya *stagnation point* yang menyebabkan nilai pada kendaraan tanpa *rounding* dan 400 mm *rounding*, terjadi *separation point* pada $x=0,1$ pada kendaraan tanpa *rounding* yang menyebabkan c_p turun sampai nilai $c_p -1,4$ dan pada $x=1,825$ pada kendaraan 400 mm *rounding* yang menyebabkan c_p turun sampai nilai $c_p -2,4$.

5. Kesimpulan

Dari hasil simulasi *Computational Fluid Dynamic* yang dilakukan pada aplikasi ANSYS. Penelitian Simulasi ini untuk mendapatkan nilai koefisien hambat, distribusi koefisien tekan pada *upperside* dan menggambarkan pola aliran udara pada mobil tanpa *rounding* dan dengan *rounding* yang bervariasi dan variasi kecepatan, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Pola aliran udara pada kendaraan *rounding* terdapat besarnya *forward bound vortex* pada bagian depan kendaraan sedangkan pada kendaraan model dengan 400 mm *rounding* *forward bound vortex* semakin berkurang, yang menyebabkan nilai koefisien hambat kendaraan model tanpa *rounding* lebih besar daripada model kendaraan dengan *rounding* 400 mm dengan selisih koefisien hambat sebesar 0,10232696.
2. Terjadi titik stagnasi pada model kendaraan tanpa *rounding* dan kendaraan dengan 400 mm *rounding* pada $x=0$, terjadi *separation point* pada $x=0,1$ pada kendaraan tanpa *rounding* dan pada $x=1,825$ pada kendaraan 400 mm *rounding*. Nilai c_p terendah pada kendaraan model tanpa *rounding* didapatkan c_p sebesar $-1,4$ dan pada kendaraan model dengan *rounding* 400 mm didapatkan nilai c_p terendah sebesar $-2,4$.

Daftar Pustaka

- [1] Anderson John D. JR. (2017). Fundamentals of aerodynamics .New York: McGraw-Hill Education.
- [2] Kusaeri, Didi.(2020). Karakteristik Aerodinamika Terhadap Desain Mobil Hemat Energi Pada Kecepatan 15 km/jam Menggunakan Computational Fluid Dynamics Jurnal Engineering Vol.11 No.1.
- [3] Sutantra, I Nyoman. 2001. Teknologi Otomotif: Teori dan Aplikasinya. Surabaya: Guna Widya.
- [4] Nashruddin, A. H., & Mirmanto, H. (2012). Studi Numerik Karakteristik Aliran 3 Dimensi di Sekitar Bodi Modifikasi SapuanganUrban Concept dengan Rasio Ground Clearance terhadap Panjang Model (C/L) 0,048. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- [5] Pritchard, Philip J., Fox & McDonald's. (2011). Introduction of fluid mechanics: Eight edition. USA: John Wiley & Sons, Inc
- [6] Jhon S, Joshua Sam., & Utomo, M.S.K. Tony Suryo. (2017). Analisis Aerodinamika Body Mobil Hemat Energi Antawirya Residual-Sat Dengan Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics. Jurnal Teknik Mesin S-1 Universitas Diponegoro, Vol. 5, No. 1.
- [7] Fakhruddin, Muhammad & Wicaksono, Hangga & Baananto, Fauzan & Firmansyah, Hilmi & Sari, Nurlia & Muzaki, Mochamad & D, Khelvindra & Hardyanto, Noveri. (2021). Optimasi Aerodinamika Bodi Mobil Hemat Energi Ken Dedes Electric Evo 3 Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics (CFD) Jurnal Teknik Energi Vol.17 No.1 Hal 36-45.
- [8] E. Oran, O Utcu. (2017). Aerodynamics Assessment Using CFD For A Low Drag Shell Eco-Marathon Car E. Abo-Serie Journal of Thermal Engineering, Vol. 3, No. 6, Special Issue 6, ber, Yildiz Technical University Press, Istanbul, Turkey.
- [9] Putro, S.H.S. (2017). Studi Numerik Karakteristik Separasi dan Reattachment Aliran Di Belakang Gundukan (BUMP) Setengah Lingkaran. Jurnal Penelitian vol 2 hal 100-109.
- [10] Putra, A.A Adi. 2021. "Penggunaan Rounding pada Front Hood Kendaraan Terhadap Pola Aliran dan Distribusi Tekanan Stasis Pada Upper Side Kendaraan Model". Skripsi. Jimbaran: Universitas Udayana.
- [11] Terial, P.H Yudho. (2017). "Analisa Aerodinamika Bodi Mobil Tipe Prototype Battery Electric "Barqun Speed" Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics" TUGAS AKHIR, Universitas Muhammadiyah Malang.
- [12] Cahyaningsih, W. (2016). "Studi Eksperimen Karakteristik Aliran Melintasi Silinder Sirkular Berpengganggu Prisma Segitiga Samasisi, Prisma Segi Empat, dan Silinder Sirkular", Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Insitut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- [13] Marga, Yogatama., & Trisno, R. (2018). Studi Koefisien Drag Aerodinamika pada Model Ahmed Body Terbalik Berbasis Metode Numerik Jurnal Teknik Mesin (JTM): Vol. 07, No. 1.
- [14] Rahman, Ardiansyah., Farid, A., & Suriansyah (2014). Pengaruh Penggunaan Spoiler Pada Model Kendaraan Sedan Terhadap Tekanan Hisap Dalam Terowongan Angin. Proton: Jurnal Ilmu Teknik Mesin, vol. 6, no. 1, hal 1-7.
- [15] Mulyana, D.I., & Rofik, M., (2022). Implementasi Deteksi Real Time Klasifikasi Jenis Kendaraan Di Indonesia Menggunakan Metode YOLOV5, Halaman 13971-13982 Jurnal Pendidikan Tambusa Volume 6 Nomor 3 Hal. 13971-13982.
- [16] Hanif, Abdul H., M. S. K., & Tony Suryo Utomo. (2015). Simulasi Aerodinamika Desain Mobil Hemat Bahan Bakar 'ANTAWIRYA' Dengan Metode Computational Fluid Dynamics. Jurnal Teknik Mesin S-1, Vol. 3, No. 2., Hal 188-197.
- [17] Rusyana, I.G.N.B Jaya. (2021). Visualisasi Pola Aliran Fluida Kerja dan Koefisien Tekanan Suatu Mobil yang Ber-Under Rear End Bervariasi. Skripsi: Universitas Udayana
- [18] Ferdiansyah, Pangki. 2015. Studi Numerik : Analisa Medan Aliran 2D Bodi Pada Mobil Basudewo. Tugas Akhir : Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- [19] Szudarek, M.; Piechna, J. 2021. CFD Analysis of the Influence of the Front Wing Setup on a Time Attack Sports Car's Aerodynamics. Energies 2021, 14, 7907. <https://doi.org/10.3390/en14237907>
- [20] Utomo, R. Ardiansyah (2017) Pemodelan Numerik Aliran 3 Dimensi Pada Bodi Modifikasi Mobil Listrik Nogogeni 6. Tugas akhir : Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- [21] Singh, Anugya Aravind S, Srinadhi K and Kannan B T (2020) Assessment of Turbulence Models on a Backward Facing Step Flow Using OpenFOAM IOP Conf. Ser: Mater. Sci. Eng. 912 042060



Pajar Doli Soripada Marbun merupakan mahasiswa Teknik Mesin Universitas Udayana Angkatan 2019, dan saat ini sedang menempuh tugas akhir dengan topik konversi energi.

Judul Tugas Akhir Simulasi Penggunaan Rounding Front Hood Kendaraan Terhadap Pola Aliran dan Distribusi Koefisien Tekanan Pada Upperside Kendaraan Model.

Analisis Pengaruh Temperatur Tuang Dan Ukuran Butiran Pasir Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Hasil Cor Kuningan Pada Pengecoran Evaporative

I Putu Predi Apriadi, I Ketut Gede Sugita, dan Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit, Jimbaran Bali

Abstrak

Pengecoran adalah suatu proses penuangan cairan logam ke dalam cetakan untuk membentuk benda kerja salah satunya adalah proses pembuatan material kuningan. Kuningan merupakan material dengan campuran Cu-Zn, dimana campuran tersebut di nilai lebih kuat dan keras dari tembaga namun tidak menutup kemungkinan material kuningan tersebut akan ditingkatkan lagi kualitasnya dengan perlakuan yang berbeda. Adapun upaya yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan variasi pada temperatur tuang dan ukuran butiran pasir yang digunakan. Dalam penelitian ini menggunakan pengecoran evaporative dengan perlakuan temperatur tuang sebesar 900°C; 1000°C; 1100°C dan ukuran butiran pasir 0,250mm; 0,315mm; 0,500mm. Adapun hasil yang di dapatkan dalam penelitian ini dari pengujian hardness Vickers yang di lakukan mendapatkan hasil bahwa nilai kekerasan material yang didapatkan menurun seiring dengan peningkatan temperatur tuang, nilai kekerasan tertinggi didapatkan pada temperatur 900°C dengan ukuran butiran pasir 0,500mm sebesar 203,65 HVN sedangkan nilai kekerasan terendah didapatkan pada temperatur 1100°C dengan ukuran butiran pasir 0,315mm sebesar 175,49 HVN. Hasil pengamatan struktur mikro didapatkan bahwa terjadi perubahan butir krista Cu-Zn seiring dengan peningkatan temperatur tuang.

Kata Kunci : Evaporative Casting, Ukuran Butir Pasir, Kekerasan, Struktur Mikro

Abstract

Casting is a process of pouring liquid metal into a mold to form a workpiece, one of which is the manufacturing process using brass material. Brass is a material composed of a mixture of Cu-Zn, where this mixture is considered stronger and harder than copper. However, it is possible to further enhance the quality of brass material with different treatments. One of the efforts that can be done is by varying the pouring temperature and the size of the sand grains used. In this study, evaporative casting was used with pouring temperature treatments of 900°C, 1000°C, and 1100°C, and sand grain sizes of 0.250mm, 0.315mm, and 0.500mm. The results obtained from the Vickers hardness testing showed that the hardness value of the material decreased with increasing pouring temperature. The highest hardness value was obtained at a temperature of 900°C with a sand grain size of 0.500mm, measuring 203.65 HVN. On the other hand, the lowest hardness value was obtained at a temperature of 1100°C with a sand grain size of 0.315mm, measuring 175.49 HVN. The observation of the microstructure revealed that there were changes in the grain structure of Cu-Zn with increasing pouring temperature.

Keywords: Evaporative Casting, Size Of Sand Grains, Violence, Microstructure

1. Pendahuluan

Pengecoran adalah proses pembuatan benda kerja dengan cara menuangkan logam cair ke dalam rongga cetakan untuk membentuk produk akhir. Salah satu contoh dari proses pengecoran adalah pembentukan logam kuningan.

Kuningan adalah paduan logam yang terbuat dari tembaga (Cu) dan seng (Zn), dengan komposisi umum berkisar antara 60-80% tembaga dan 20-40% seng. Properti fisik dan mekanik kuningan dapat bervariasi tergantung pada komposisi paduan, proses pengerjaan, dan perlakuan panas yang diterapkan.[1], dan mudah di aplikasikan seperti pada pilot jet sepeda motor. Kekerasan hasil coran kuningan juga dipengaruhi oleh

beberapa faktor lain, selain pemilihan bahan baku (raw material) dan pengaturan komposisi paduan. Oleh karena itu, pemilihan bahan baku yang sesuai, komposisi paduan yang tepat, pengaturan proses pengecoran yang baik, serta perlakuan panas yang sesuai sangat penting untuk mencapai kekerasan yang diinginkan pada kuningan hasil coran. [2]. Dalam penelitian ini menggunakan metode pengecoran *evaporative* menggunakan lostfoam sebagai pola cetakan yang di nilai baik dibidang ketelitian.

Metode pengecoran Lost Foam (atau juga dikenal sebagai *Full Mold Casting*) merupakan metode yang relatif baru dalam industri pengecoran logam. Metode ini melibatkan penggunaan pola dari bahan *lost foam* yang

akan menguap ketika logam cair dituangkan ke dalam cetakan, sehingga membentuk benda kerja yang diinginkan.[3]. salah satu kelebihan utama metode pengecoran *Lost Foam* adalah fleksibilitas dan keleluasaan dalam desain pola coran. Metode ini memungkinkan pembuatan benda kerja dengan bentuk yang kompleks atau rumit yang sulit dicapai dengan metode pengecoran lainnya. Keleluasaan desain pola coran yang tinggi, metode *Lost Foam* dapat menjadi solusi yang efektif dalam produksi benda kerja dengan bentuk yang kompleks dan detail yang rumit [4]. Namun jika tidak dilakukan dengan benar akan mengakibatkan tingkat porositas menjadi lebih tinggi [3].

Untuk mengantisipasi hal tersebut, Penelitian ini berfokus pada pengaruh dua faktor, yaitu suhu pengecoran (temperatur tuang) dan ukuran butiran pasir, terhadap kekerasan dan struktur mikro kuningan hasil cor dalam metode pengecoran *evaporative*. Dengan memvariasikan ukuran butiran pasir dan temperatur tuang dari pengecoran kuningan dengan tujuan dapat mengetahui metode yang tepat sehingga dapat meningkatkan kualitas berupa nilai kekerasan dan karakteristik berupa struktur mikro dari material tersebut.

Selain memperhatikan kekerasan, penelitian juga mengevaluasi struktur mikro kuningan hasil cor. Struktur mikro kuningan dapat terpengaruh oleh suhu pengecoran dan ukuran butiran pasir. Dengan mengkombinasikan pengaruh suhu pengecoran dan ukuran butiran pasir, penelitian ini bertujuan untuk menemukan kombinasi optimal yang dapat meningkatkan kualitas kuningan hasil cor

Untuk mendapatkan hasil yang diinginkan dari permasalahan yang ada, maka perlu dilakukan pembatasan antara lain:

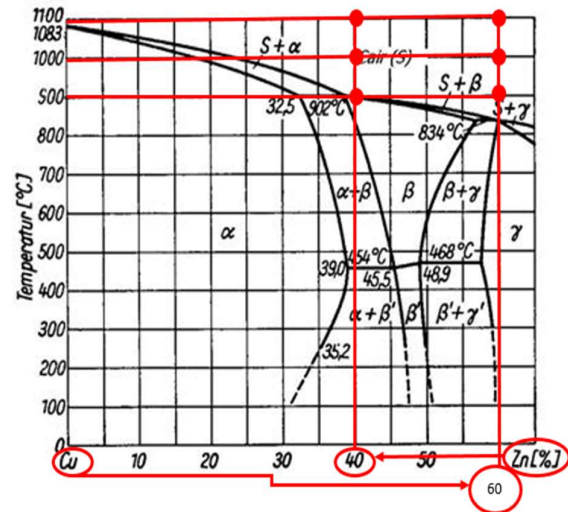
1. Bahan bakar pembakaran menggunakan arang, kayu dan batok kelapa.
2. Alat pengukur temperature menggunakan Termokopel Tipe-K.
3. Pendinginan menggunakan suhu ruang.
4. Bentuk butiran pasir dianggap steadytate.
5. Jarak penuangan kuningan cair dilakukan sama, 20mm.
6. Kecepatan pada penuangan kuningan cair dilakukan sama.

2. Dasar Teori

2.1. Kuningan

kuningan adalah logam campuran yang terdiri terutama dari tembaga (Cu) dan seng (Zn). Tembaga adalah komponen utama dari kuningan, sementara seng memberikan sifat tambahan pada paduan tersebut. Proporsi tembaga dan seng dalam kuningan dapat

bervariasi tergantung pada kebutuhan dan aplikasi tertentu.



Gambar 1. Diagram biner Cu-Zn

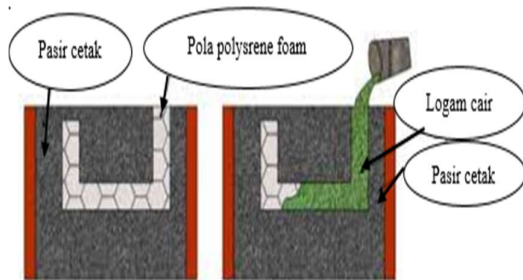
pada diagram fasa paduan kuningan, terdapat dua fase utama yang umumnya terkait dengan sifat-sifat mekanik yang berbeda, yaitu fase α (alfa) dan fase β (beta). Fase α (alfa) pada diagram fasa kuningan memiliki struktur kristal dengan unit sel FCC (*Face Centered Cubic*). Fase ini cenderung memiliki sifat ulet (*ductile*) dan dapat diproses dengan baik dalam proses pemesinan. Sedangkan fase β (beta) pada diagram fasa kuningan memiliki struktur kristal dengan unit sel BCC (*Body-Centered Cubic*). Fase ini cenderung lebih keras dan lebih kuat dibandingkan dengan fase α . Namun, kelemahan dari fase β adalah sifat yang getas (*brittle*) atau mudah hancur.

2.2. Pengecoran *Evaporative* (*Loast Foam Casting*)

Proses pengecoran *evaporative* menggunakan metode yang berbeda dari pengecoran dengan cetakan pasir tradisional. Dalam metode pengecoran *evaporative*, pasir kering digunakan sebagai bahan cetakan tanpa campuran air atau bentonit. Kelebihan dari metode pengecoran *evaporative* adalah kemampuan untuk menciptakan coran dengan bentuk yang rumit dan detail yang sulit dicapai dengan metode pengecoran lainnya. Metode ini juga dapat mengurangi kebutuhan akan pola cetakan yang mahal dan waktu produksi yang lama., karena proses ini menggunakan

pola cetakan yang terbuat dari *polystyrene foam*.

Pola cetakan yang terbuat *polystyrene foam* (atau sering disebut juga pola gabus) ditenamkan di dalam pasir cetak, kemudian logam yang telah dicairkan dituangkan ke dalam cetakan. Metode pengecoran dengan menggunakan pola cetakan polistirena foam ini memberikan keleluasaan dalam mendapatkan rincian dan bentuk yang rumit pada benda cor.



Gambar 2. Proses pengecoran evaporative pola styrofoam

2.3. Pasir cetak

pasir cetak adalah bahan yang umum digunakan dalam proses pengecoran. Ada beberapa jenis pasir yang sering digunakan, termasuk pasir gunung, pasir pantai, pasir sungai, dan pasir silika (pasir kuarsa). Pasir silika terdiri dari kandungan utama SiO₂ (silikon dioksida) dan dapat terdapat kotoran seperti mika dan felstar.

Ukuran butir pasir cetak memainkan peran penting dalam pengecoran. Pasir dengan ukuran butir yang lebih besar akan menghasilkan rongga antar butir yang lebih besar. Hal ini dapat mempengaruhi proses pendinginan dan pembekuan logam cair saat dituangkan ke dalam cetakan. Jika rongga antar butir pasir lebih besar, cairan logam akan memiliki lebih banyak kontak dengan udara di sekitarnya, yang menyebabkan pendinginan yang lebih cepat.

Selain itu, kecepatan pendinginan yang cepat juga dapat menghasilkan kontraksi lebih besar saat logam mengeras. Untuk mengatasi masalah ini, seringkali dilakukan perhitungan dan penyesuaian pola cetakan sebelumnya, yang dikenal sebagai kompensasi kontraksi, agar produk cor akhir memiliki ukuran yang sesuai dengan yang diinginkan.

Dalam praktek pengecoran, pemilihan pasir cetak yang tepat dan ukuran butir yang sesuai sangat penting untuk mencapai kualitas produk cor yang baik dan menghindari masalah seperti kekurangan atau kelebihan ukuran. (Sutiyoko dan Lutiyatmi, 2013).



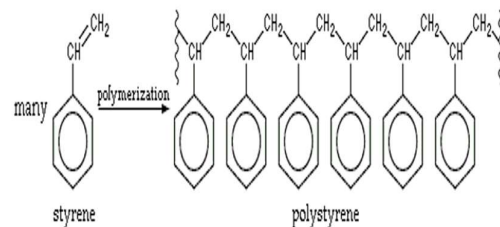
Gambar 3. Contoh pasir silika

2.4. Polystyrene foam (PS)

polystyrene foam (PS) atau yang sering disebut styrofoam, diproduksi dalam bentuk busa atau gabus yang memiliki sifat-sifat tertentu tergantung pada suhu.

Berikut ini adalah perubahan sifat Styrofoam pada suhu tertentu yaitu:

1. Pada suhu 95°C styrofoam busa atau gabus akan menjadi lunak dan dapat mudah diubah bentuknya.
2. Pada suhu 120°C hingga styrofoam akan menjadi cairan kental atau seperti gel. Struktur busa atau gabus styrofoam akan mulai hancur dan melunak lebih lanjut menjadi substansi yang lebih kental.
3. Pada suhu 250°C styrofoam akan menjadi encer. Sifat cairan yang lebih encer ini dapat terjadi karena polystyrene mulai melarut pada suhu tinggi.
4. Pada suhu 320°C hingga 330°C styrofoam akan mengalami dekomposisi atau terurai menjadi komponen molekul yang lebih sederhana. Ini dapat terjadi karena polystyrene mengalami pemecahan ikatan kimia akibat panas yang tinggi (Surdia, T. dan Saito, S. 2000).



Gambar 4. Polimerisasi polystyrene foam (PS)

3. Metode penelitian

Penelitian ini menggunakan metode studi eksperimental guna untuk mengetahui pengaruh dari penggunaan variasi temperatur tuang dan variasi ukuran butir pasir terhadap

kekerasan dan struktur mikro dari pengecoran kuningan.

Tahapan penelitian ini dimulai dari proses persiapan alat dan bahan kemudian dilanjutkan dengan proses pembuatan pola cetakan dengan menggunakan polystyrene foam, setelah itu dilanjutkan dengan tahapan pemasangan wadah pasir dengan butiran pasir yang digunakan sesuai variasi. Kuningan yang sudah dilebur dengan temperatur sesuai variasi dituangkan kedalam pola cetakan.

Kuningan yang sudah dituangkan tersebut didiamkan beberapa saat lalu di lanjutkan dengan proses pembongkaran wadah cetakan. Hasil pengecoran kuningan tersebut dibentuk dengan ukuran 1cm x 1cm lalu dilanjutkan dengan tahapan pengujian struktur mikro dan pengujian kekerasan dengan ASTM E92. Data yang diperoleh dari pengujian akan diolah dan dianalisis.

3.1. Variabel Penelitian

3.1.1. Variabel terikat

Variabel terikat pada penelitian ini adalah kekerasan dan struktur mikro dari pengecoran kuningan.

3.1.2. Variabel bebas

1. Variasi temperatur tuang: 900, 1000 dan 1100°C.
2. Variasi ukuran butir pasir silika 0,250, 0,315 dan 0,500mm.

3.1.3. Variabel control

1. Kuningan yang digunakan adalah kuningan dengan paduan 60%Cu – 40%Zn.
2. Polystyrene foam yang digunakan adalah polystyrene foam 0,018 gr/cm³

3.2. Alat

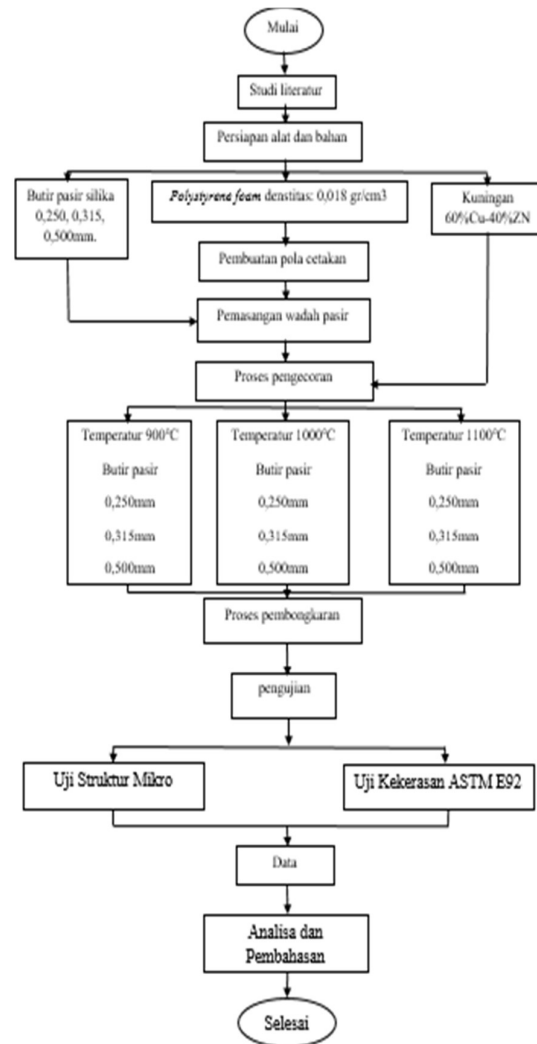
1. Tungku krusibel digunakan sebagai alat pemanas logam hingga mencair.
2. Alat pemotong polystyrene foam.
3. Termokopel type K Untuk mengukur temperatur penuangan.
4. Wadah pasir digunakan untuk membenamkan pola cetakan *polystyrene foam* pada pasir cetak.
5. Jangka sorong digunakan untuk pengukuran dimensi panjang dan lebar cetakan pada saat membuat pola.
6. Alat mesh pasir digunakan menganyak pasir silika yang akan di gunakan untuk pengecoran *evaporative*.

3.3. Bahan

1. Kuningan 60%Cu-40%Zn.
2. Pasir cetak yang digunakan adalah pasir silika dengan ukuran 0,250mm, 0,315mm, 0,500mm.

3. *Polystyrene foam* sebagai pola cetakan dengan densitas 0,018 gr/cm³.

3.4. Diagram alir penelitian



Gambar 5. Diagram alir penelitian

3.5. Metode Uji

3.5.1. Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan Vickers adalah metode pengujian kekerasan yang menggunakan indenter piramida intan untuk menentukan kekerasan bahan. Sudut antara permukaan piramida intan yang saling berhadapan dalam metode ini adalah 136°. Metode Vickers ini sering digunakan untuk mengukur kekerasan material dengan tingkat akurasi yang tinggi. Indenter ini ditekan ke permukaan bahan yang akan diuji dengan beban tertentu. Proses pengujian kekerasan mengacu pada standar (ASTM E-92).

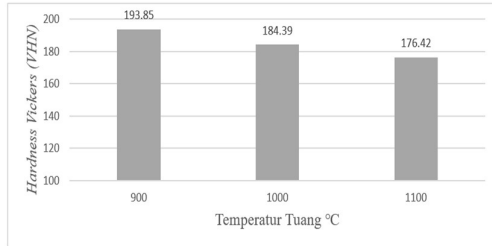
3.5.2. Uji Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk mengetahui citra yang terdapat pada

spesimen seperti letak ferit, perlit, dan grafit. Pengujian mikroskop menggunakan lensa dengan pembesaran 20x disepanjang alur hasil coran.

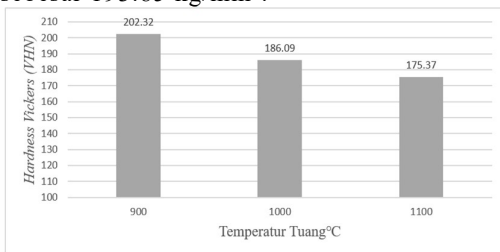
4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Analisis Uji Kekerasan Vickers



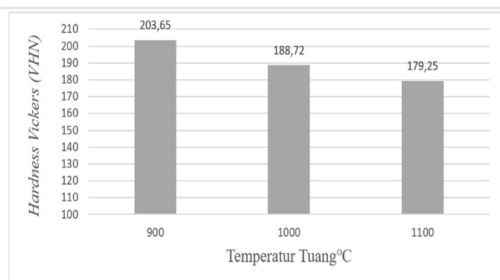
Gambar 6. Diagram nilai kekerasan kuningan dengan ukuran butir pasir 0,250mm

Pada gambar 6 menunjukkan diagram nilai kekerasan spesimen dengan temperatur 900°C, 1000°C, 1100°C dan butir pasir 0,250mm. Diagram menunjukkan bahwa speimen dengan temperatur tuang 900°C, 1000°C, 1100°C memiliki nilai kekerasan (HVN) tertinggi sebesar 193.85 kg/mm².



Gambar 7. Diagram nilai kekerasan kuningan dengan ukuran butir pasir 0,315mm

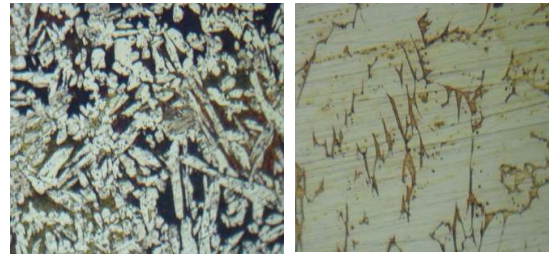
Pada gambar 7 menunjukkan diagram nilai kekerasan spesimen dengan temperatur 900°C, 1000°C, 1100°C dan butir pasir 0,315mm. diagram menunjukkan bahwa spesimen dengan temperatur tuang 900°C, 1000°C, 1100°C memiliki nilai kekerasan (HVN) tertinggi sebesar 202.32 kg/mm².



Gambar 8. Diagram nilai kekerasan kuningan dengan ukuran butir pasir 0,500mm

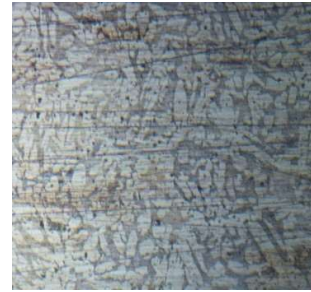
Pada gambar 8 menunjukkan diagram nilai kekerasan spesimen dengan temperatur 900°C, 1000°C, 1100°C dan butir pasir 0,500mm. Diagram menunjukkan bahwa speimen dengan temperatur tuang 900°C, 1000°C, 1100°C memiliki nilai kekerasan (HVN) tertinggi sebesar 203.65 kg/mm².

4.2 Analisis Uji Struktur Mikro



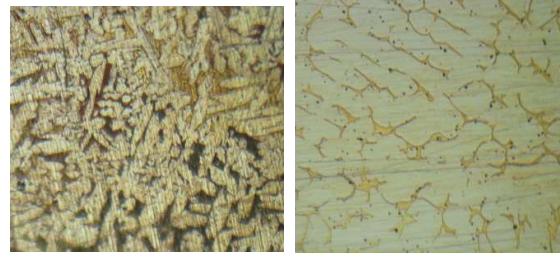
Gambar (a)

Gambar (b)



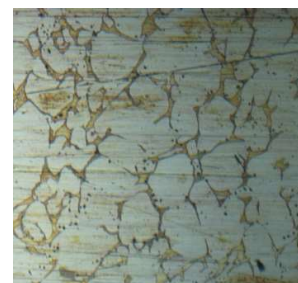
Gambar (c)

Gambar 9. Hasil uji struktur mikro dengan ukuran butir pasir 0,250mm, 0,315mm dan 0,500mm dengan temperatur 900°C



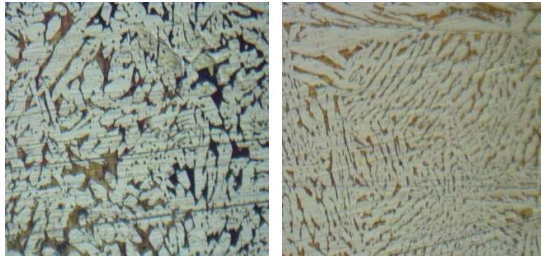
Gambar (a)

Gambar (b)



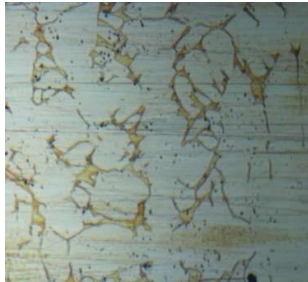
Gambar (c)

Gambar 10. Hasil uji struktur mikro dengan ukuran butir pasir 0,250mm, 0,315mm dan 0,500mm dengan temperatur 1000°C



Gambar (a)

Gambar (b)



Gambar (c)

Gambar 11. Hasil uji struktur mikro dengan ukuran butir pasir 0,250mm, 0,315mm dan 0,500mm dengan temperatur 1100°C

Pembesaran lensa yang di gunakan pada pengamatan struktur mikro yaitu 20x pembesaran mikro meter supaya terlihat bentuk butir kristal yang terjadi pada paduan logam kuningan 60%Cu-40%Zn.

Dari hasil pengamatan struktur mikro pada gambar setiap spesimen coran kuningan terlihat bahwa terjadi perbedaan bentuk butir kristal Cu-Zn sejalan dengan peningkatan temperatur tuang pada setiap varian ukuran butir pasir. Spesimen dengan temperatur tuang 900°C cenderung memiliki bentuk butir yang kecil, pada spesimen dengan temperatur tuang 1000°C terjadi perubahan bentuk butir kristal Cu-Zn yang lebih memanjang namun juga terdapat bentuk butir kristal yang kecil seperti pada temperatur tuang 900°C, sedangkan pada temperatur tuang 1100°C bentuk butir kristal Cu-Zn lebih memanjang dan seragam.

5. Kesimpulan

1. Temperatur tuang berpengaruh terhadap nilai kekerasan spesimen coran. Hasil pengujian *Hardness Vickers* yang telah dilakukan pada spesimen hasil coran kuningan disetiap ukuran butir pasir, Nilai kekerasan tertinggi didapatkan pada spesimen dengan ukuran butir pasir 0,500mm dengan temperatur tuang 900°C sebesar 203,65 HVN, sedangkan nilai kekerasan terendah didapatkan pada spesimen dengan ukuran butir pasir 0,500mm dengan

temperatur tuang 1100°C sebesar 175,49 HVN.

2. Pertumbuhan struktur mikro yang terjadi pada spesimen dengan temperatur tuang 900°C cenderung memiliki bentuk butir yang kecil. Spesimen dengan temperatur tuang 1000°C terjadi perubahan bentuk butir kristal Cu-Zn yang lebih memanjang namun juga terdapat bentuk butir kristal yang kecil seperti pada temperatur tuang 900°C, sedangkan pada temperatur tuang 1100°C bentuk butir kristal Cu-Zn lebih memanjang dan seragam. Struktur mikro yang memiliki bentuk butir kecil menyebabkan nilai kekerasan menjadi lebih tinggi, jika dibandingkan dengan struktur mikro yang memiliki butir memanjang nilai kekerasan menjadi lebih rendah .

Daftar Pustaka

- [1] S. Slamet, B. H. Priyambodo, Suhartoyo, and R. I. Yaqin, "Pengaruh Durasi Waktu Shot Peening Pada Permukaan Logam Kuningan Terhadap Ketahanan Korosi," *Pros. Snatif Ke -5*, pp. 661–666, 2018.
- [2] H. Setiawan, "Pengujian Kekuatan Tarik, Kekerasan, Dan Struktur Mikro Produk Cor Propeler Kuningan," *J. SIMETRIS*, vol. 3, no. 1, pp. 71–79, 2013.
- [3] M. Susri, Suherman, and F. Rahmad, "Pengaruh Penambahan Magnesium Terhadap Kekerasan, Kekuatan Impak Dan Struktur Mikro Pada Aluminium Paduan (Al-Si) Dengan Metode Lost Foam Casting," *J. Ilm. "Mekanik" Tek. Mesin ITM*, vol. 2, no. 2, pp. 77–84, 2016.
- [4] S. Mizhar, "Pengaruh Heat Treatment Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Aluminium Paduan Al-Si-Cu Pada Cylinder Head Sepeda Motor," *J. Ilm. "Mekanik" Tek. Mesin ITM*, vol. 3, no. 1, pp. 9–15, 2016.
- [5] ASTM E-92, "ASTM E-92 Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials," in *Annual Book of ASTM Standards 4*, vol. 82, no. Reapproved, 1997, pp. 1–10.



I Putu Predi Apriadi

adalah seorang mahasiswa angkatan 2019 teknik mesin yang sudah menyelesaikan studi S1 Prodi Teknik Mesin, Universitas Udayana tertanggal 09 Juni 2023.

Bidang penelitian yang diminati mengenai topik berkaitan dengan material , mesin produksi , dan yang berkaitan dengan pengecoran logam.

ANALISIS KONSUMSI DAYA SKUTER LISTRIK MAGNETO DIUJI PADA JALAN MENDATAR DAN MENANJAK AKIBAT DIBERIKAN PEMBEBANAN

Rizal Leo Mahendra¹⁾, Wayan Nata Septiadi²⁾, I Gusti Ketut Sukadana³⁾

Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana Bali, Kampus Bukit Jimbaran

ABSTRAKSI

Sektor transportasi saat ini sudah mulai berkembang dan mulai beralih dari energi berbahan bakar fosil ke kendaraan berenergi listrik. Dengan tujuan untuk menciptakan kendaraan yang ramah lingkungan. Salah satunya yaitu skuter listrik magneto, merupakan kendaraan listrik yang energinya bersumber dari daya baterai. Konsumsi daya baterai saat skuter listrik magneto melewati jalan mendatar dan jalan menanjak akibat beban yang diterima terhadap performa dari skuter listrik magneto perlu untuk diketahui. Pengujian konsumsi daya skuter listrik magneto dilakukan pada jalan mendatar dan menanjak, dengan kemiringan jalan menanjak sebesar 12 derajat terhadap variasi pembebanan skuter listrik magneto pada beban 60 Kg dan 70 Kg serta dengan variasi kecepatan 20 km/jam dan 30 km/jam. Semakin berat beban dan semakin tinggi kecepatan yang diterima skuter listrik magneto, maka semakin besar konsumsi daya baterai pada skuter listrik magneto saat melewati jalan mendatar maupun jalan menanjak. Sehingga dapat disimpulkan semakin berat beban dan semakin tinggi kecepatan yang diberikan maka konsumsi daya baterai akan semakin besar. Sedangkan saat melewati jalan menanjak konsumsi daya baterai akan jauh lebih besar dari pada saat melewati jalan mendatar dengan beban serta variasi kecepatan yang sama.

Kata Kunci : Konsumsi daya, skuter listrik, jalan mendatar, jalan menanjak

ABSTRACT

The transportation sector is currently developing and starting to switch from fossil fuel energy to electric energy vehicles. With the aim of creating environmentally friendly vehicles. One of them is the Magneto electric scooter, which is an electric vehicle whose energy comes from battery power. It is necessary to know the consumption of battery power when the Magneto electric scooter passes flat roads and uphill roads due to the load received on the performance of the Magneto electric scooter. Testing the power consumption of the Magneto electric scooter was carried out on flat and uphill roads, with an uphill slope of 12 degrees for variations in the loading of the Magneto electric scooter at a load of 60 kg and 70 kg and with variations in speed of 20 km/hour and 30 km/hour. The heavier the load and the higher the speed received by the magneto electric scooter, the greater the consumption of battery power on the magneto electric scooter when driving on flat roads or uphill roads. So it can be concluded that the heavier the load and the higher the speed given, the greater the consumption of battery power. Meanwhile, when going uphill, the consumption of battery power will be much greater than when going through a flat road with the same load and speed variations.

Keywords: Power consumption, electric scooter, flat road, uphill road

1. Pendahuluan

Seiring banyaknya kendaraan bermotor terutama kendaraan berenergi fosil yang digunakan dapat mengakibatkan terjadinya tingkat pencemaran lingkungan khususnya yaitu polusi udara. Melihat dari masalah diatas kendaraan yang ramah lingkungan perlu segera diciptakan terutama di Indonesia [1].

Sektor transportasi sekarang sudah mulai beralih dari yang berbahan bakar fosil secara perlahan berpindah ke energi listrik. Penggunaan bahan bakar fosil pada kendaraan bermotor telah

mengakibatkan meningkatnya dari yang stabil ke konsentrasi CO₂ di atmosfer menjadi 400,26 ppm pada tahun 2015 [2].

Baterai merupakan sumber yang ramah lingkungan untuk energi listrik. Saat ini baterai sudah mulai digunakan untuk kendaraan listrik. Baterai *Lithium-Ion* banyak dipakai untuk kendaraan listrik[3].

Motor listrik merupakan kendaraan dengan sumber utamanya yaitu dari baterai. Pengembangan motor listrik sendiri sudah banyak dilakukan baik di luar negeri dan dalam negeri. Pengembangan yang

dilakukan berupa konversi dari kendaraan fosil (konvensional) ke kendaraan bertenaga listrik. Skuter listrik sangat berguna untuk mobilitas dalam berpergian dari satu tempat ke tempat yang lainya karena bentuknya yang ramping dan mudah untuk di kendarai. Sistem mekanikal pada skuter listrik magneto 800 watt 48 Volt yang dirancang berbeda dengan sistem mekanikal motor listrik lainnya. Dari produk yang sudah dibuat tentunya perlu diketahui karaterisasi konsumsi daya [4].

Kinerja skuter listrik yang optimal diperlukan saat digunakan. Konsumsi daya pada skuter listrik perlu diketahui untuk mengetahui performa skuter listrik magneto berupa karakteristik arus dan juga tegangan di kondisi jalan seperti jalan mendatar dan menanjak.

Konsumsi daya baterai pada skuter listrik magneto ini sendiri masih belum sempurna jika dilihat dari pengaruh pembebanan yang diterima oleh skuter listrik magneto ini. Pembebanan yang dimaksudkan yaitu dari beban penumpang, maka dari itu pengujian konsumsi daya secara langsung perlu dilakukan untuk mengetahui performa skuter listrik magneto di jalan yang telah ditentukan [5]

Berikut batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Berat penumpang divariasikan dua variasi (1 penumpang 60 kg dan pengujian ke 2 seberat 70 kg)
2. Variasi kecepatan pengujian skuter listrik yang telah ditentukan.
3. Pada penelitian ini hanya meneliti konsumsi daya baterai skuter listrik magneto terhadap jalan mendatar dan menanjak akibat diberikan pembebanan (penumpang).
4. Pengujian di lakukan dijalan mendatar dan menanjak yang sudah beraspal.
5. Kemiringan medan jalan menanjak 10° sampai 20° (sesuai hasil pada saat pengujian)

6. Friksi (gaya rolling suatu benda terhadap benda lainnya) diasumsikan pada saat pengujian jalan skuter listrik magneto dengan friksi 0 atau tidak ada friksi.

7. Pengujian pada setiap variasi beban dilakukan dengan waktu tempuh selama

2. Landasan Teori

2.1 Motor Listrik

Energi listrik yang diubah menjadi energi mekanik merupakan pengertian dari motor listrik, melalui interaksi antar medan magnet dengan konduktor pembawa arus [6].

Motor listrik memiliki beberapa jenis, bagian utama dari motor listrik yaitu *stator* dan *rotor*.

2.2 Kinerja Motor Listrik

Motor listrik memiliki beberapa cara kerja untuk tiap jenis motor. Prinsip kerja arus searah DC yaitu dengan membalik fasa tegangan nilai positif dengan memakai komutator, sehingga pada kedua terminal akan memiliki beda tegangan yang dapat menimbulkan perputaran motor satu arah dan jika tegangan dibalik menyebabkan putaran dari motor akan terbalik.

Tegangan yang diterima oleh dua terminal akan menentukan arah dari putaran motor sendiri, dan kecepatan motor ditentukan dari beda tegangan kedua terminal [7].

2.3 Daya Motor Listrik

Kinerja dari motor listrik ini sendiri dipengaruhi oleh beberapa parameter yaitu kecepatan, medan jalan, dan daya yaitu sebagai berikut :

Gaya Percepatan

$$F_a = ma \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan : F_a = Gaya Percepatan (Newton)

m = massa (kg)

a = Percepatan (m/s^2)

Gaya Menanjak

$$F = F_{gy} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan : F = Gaya Menanjak (Newton)

m = Massa (kg)

g = Kecepatan Gravitasi Bumi (m/s^2)

$\sin(\alpha)$ = Sudut Kemiringan

Bobot Total Kendaraan

$$W = m \times g \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan : W = Bobot Kendaraan (N)

m = Massa total kendaraan (kg)

g = Kecepatan gravitasi bumi ($9,81 m/s^2$)

Putaran Motor Listrik

$$v = \pi \times d \times n \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan : v = Laju kecepatan (m/menit)

d = Diameter roda (m)

n = Putaran mesin (rpm)

Daya Motor Listrik Yang Diperlukan

$$P = g \times \mu \times m_{tot} \times v \times \eta \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan : g = Gaya gravitasi (m/s^2)

μ = Koefisien gesek

m_{tot} = Massa total kendaraan (kg)

v = Kecepatan (m/detik)

η = Efisiensi

Daya Input

$$(P) = I \times V \dots \dots \dots (2.6)$$

Keterangan : P = Daya (Watt)

I = Arus (A)

V = Voltase (V)

3. Metode Penelitian

3.1 Studi Penelitian

Studi penelitian eksperimen memiliki pembuktian yang lebih kuat dibandingkan dengan metode pengujian yang lainnya. Daya input skuter listrik pada pengujian kondisi jalan mendatar dan menanjak akibat pengaruh pembebanan perlu diketahui.

3.2 Bahan Dan Alat Penelitian

Bahan pengujian konsumsi daya yaitu skuter listrik magneto.



Gambar 3.1 Skuter Listrik Magneto

Alat yang digunakan dalam penelitian konsumsi daya saat pengujian yaitu sebagai berikut :

1. AVOMeter



Gambar 3.2 Alat Ukur AVOMeter

Digunakan untuk mengukur tegangan baterai pada saat pengujian skuter listrik

2. Tang Meter



Gambar 3.3 Alat ukur Tang Meter

Digunakan untuk mengukur arus baterai pada saat pengujian.

3. Ponsel



Gambar 3.4 Ponsel Apk

Digunakan untuk mengetahui kecepatan serta jarak tempuh saat pengujian

4. Meteran



Gambar 3.5 Meteran

Digunakan untuk mengukur jalan serta tinggi tanjakan pada jalan menanjak

3.3 Langkah Pengujian

1. Pertama siapkan alat dan bahan pengujian.
2. Memakai helm dan sepatu dalam berkendara saat pengujian.
3. Pasang avometer pada kabel positif (+), dan negative (-) pada baterai untuk mengetahui tegangannya, dan lihat pada indikator di skuter listrik magneto.
4. Tang meter dipasang pada kabel positif (+) baterai untuk mengetahui arus baterai.
5. Jika alat susah untuk di pegang pada saat pengujian jalan gantungkan alat pada skuter listrik atau dengan menempatkan wadah di skuter.
6. Kendarai skuter listrik yang akan diuji. Untuk jalan menanjak gunakan waterpas serta aplikasi

diponsel untuk mengetahui sudut kemiringan dari jalan tersebut.

7. Hidupkan skuter listrik.
8. Skuter listrik kemudian dijalankan sesuai kecepatan yang ditentukan, dan pembebanan yang sudah ditentukan. Catat/foto arus listrik dan tegangan yang dihasilkan alat ukur yang telah dipasang.
9. Setiap beban dilakukan sebanyak tiga kali pengujian untuk mendapatkan hasil data yang akurat.
10. Setelah pengujian skuter selesai matikan skuter dan olah data yang telah didapat.

Data yang akan diambil yaitu dengan memperhitungkan dari beberapa aspek sebagai berikut :

1. Beban Pengendara

Beban pengendara yang akan dilakukan pada saat pengujian yaitu dengan dua beban pertama beban I (60 kg) dan beban II (70 kg). Masing – masing beban akan dilakukan pengujian sebanyak 3 kali pengujian agar mendapatkan data yang akurat.

2. Variasi Kecepatan Skuter

Kecepatan skuter akan divariasikan dengan kecepatan yang pertama yaitu 20 km/jam dan kecepatan kedua yaitu 30 km/jam. Pengujian ini akan didapatkan data yaitu berupa arus (I) dan tegangan (V).

Pengujian dilakukan selama 1 menit disetiap variasi kecepatan yang telah ditentukan. Kemudian dari data arus dan tegangan ini akan diperoleh hasil perhitungan berupa daya (P) dari konsumsi baterai.

3. Medan Jalan

Medan jalan yang akan dilakukan untuk pengujian skuter listrik magneto yaitu jalan menanjak dan jalan mendatar yang sudah ber-aspal. Untuk medan jalan menanjak diasumsikan kemiringan sudut dari jalan adalah $10^\circ - 20^\circ$ (sesuai hasil saat pengujian).

4. Hasil Penelitian

4.1 Hasil Pengujian Konsumsi Daya Skuter Listrik Magneto Pada Jalan Mendatar Dan Menanjak Akibat Pembebanan Yang Diterima

Berikut merupakan data hasil pengujian konsumsi daya pada skuter listrik magneto yang telah melalui proses pengolahan data :

Tabel 4.1 Data Hasil Konsumsi Daya Skuter Listrik Magneto Pada Jalan Mendatar

No	Beban (kg)	Kecepatan (km/jam)	Rata - Rata		
			Arus (A)	Tegangan (V)	Daya (W)
1	60	20	0,27	57,9	16,02
		30	0,69	57,6	40,12
2	70	20	0,35	57,4	20,54
		30	0,87	56,8	49,41

Tabel 4.2 Data Konsumsi Daya Skuter Listrik Magneto Pada Jalan Menanjak

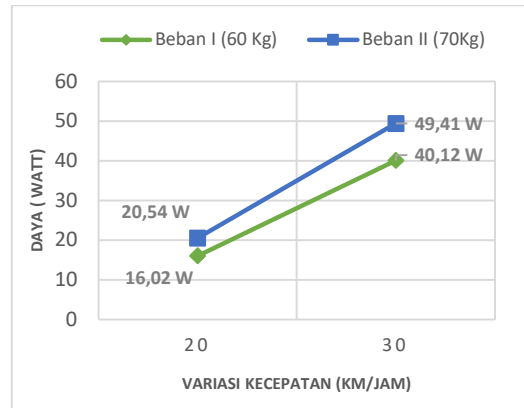
No	Beban (kg)	Kecepatan (km/jam)	Rata - Rata		
			Arus (A)	Tegangan (V)	Daya (W)
1	60	20	0,49	57	28,31
		30	0,83	56,7	47,01
2	70	20	0,66	56,3	37,19
		30	1,37	55,8	76,52

Hasil data diatas dapat diketahui nilai dari konsumsi daya baterai skuter listrik berupa arus dan tegangan yang menggunakan motor BLDC (*BrushLess Direct Current*) sebagai motor penggerak skuter. Pada percobaan dengan menggunakan beban dan kecepatan yang rendah menghasilkan konsumsi daya baterai skuter listrik magneto lebih sedikit, dan ketika skuter listrik diberikan beban dan kecepatan yang tinggi konsumsi dari daya baterai menunjukkan konsumsi daya yang lebih besar, dalam hal ini medan jalan juga mempengaruhi terhadap konsumsi daya baterai skuter listrik ini. Misalnya saja pada saat melewati jalan mendatar konsumsi daya baterai skuter listrik

magneto lebih sedikit dibandingkan pada saat skuter listrik melewati medan jalan yang menanjak dengan variasi beban yang telah ditentukan.

4.2 Grafik Hasil Data Perhitungan Dan Pembahasan

Hasil perhitungan data yang telah dianalisis melalui pengujian yang telah dirata - rata, konsumsi daya baterai skuter listrik magneto pada setiap variasi beban dan kecepatan yang telah ditentukan pada jalan mendatar dan menanjak maka dapat ditampilkan pada grafik sebagai berikut ini :

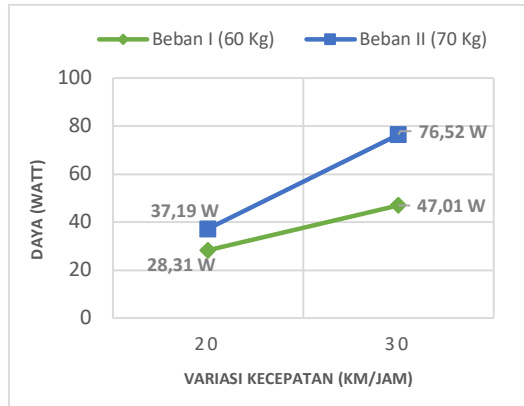


Gambar 4.1 Grafik Hasil Pengujian Jalan Mendatar

Grafik diatas menunjukkan bahwa ada perbedaan nilai dari daya terhadap variasi kecepatan dan variasi beban yang telah diberikan. Variasi beban I (60 Kg) pada kecepatan 20 km di jalan mendatar memperoleh nilai rata rata daya yaitu 16,02 watt dan dikecepatan 30 km mendapatkan nilai dari rata rata daya sebesar 40,12 watt. Sedangkan untuk variasi beban II (70 Kg) nilai rata rata daya pada kecepatan 20 km yaitu 20,54 watt, dan pada kecepatan 30 km memperoleh nilai rata rata daya sebesar 49,41 watt.

Grafik pengujian data hasil konsumsi daya skuter listrik magneto, semakin tinggi kecepatan konsumsi daya akan semakin meningkat, dan semakin berat beban yang diterima oleh skuter listrik magneto maka konsumsi daya baterai semakin besar. Dimana semakin tinggi kecepatan

dan beban yang diberikan maka konsumsi dari daya baterai akan semakin besar, yang mengakibatkan daya baterai akan cepat habis ketika skuter listrik magneto diberikan beban yang semakin berat dan kecepatan yang relatif tinggi ketika digunakan [8].



Gambar 4.2 Grafik Hasil Pengujian Jalan Menanjak

Grafik diatas menunjukkan bahwa ada perbedaan nilai dari daya terhadap variasi kecepatan dan variasi beban yang telah diberikan pada jalan menanjak. Dimana variasi beban I (60 Kg) pada kecepatan 20 km di jalan menanjak memperoleh nilai rata rata daya yaitu 28,31 watt, dan dikecepatan 30 km mendapatkan nilai dari rata rata daya sebesar 47,01 watt. Sedangkan untuk variasi beban II (70 Kg) nilai rata rata daya pada kecepatan 20 km yaitu 37,19 watt, dan pada kecepatan 30 km memperoleh nilai rata rata daya sebesar 76,52 watt.

Grafik pada jalan menanjak dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kecepatan maka daya akan semakin meningkat, dan semakin berat beban yang diterima oleh skuter listrik magneto maka konsumsi daya baterai akan semakin besar yang mengakibatkan daya baterai akan cepat habis ketika skuter listrik magneto diberikan beban yang semakin berat dan kecepatan yang relatif tinggi terutama pada medan jalan menanjak akan lebih besar daya yang dikeluarkan dari pada ketika digunakan pada medan jalan mendatar dengan kecepatan dan beban yang sama.

Konsumsi daya lebih besar saat melewati jalan menanjak disebabkan gaya berat beban (pengendara) dipengaruhi oleh gravitasi bumi, pada saat melewati jalan menanjak skuter listrik memerlukan usaha yang lebih besar akibat adanya gaya berat yang dipengaruhi oleh gravitasi bumi sehingga konsumsi daya skuter listrik magneto akan semakin bertambah besar ketika melewati jalan menanjak dan semakin tinggi tanjakan maka semakin besar pula gaya berat beban yang diterima oleh skuter listrik karena gaya gravitasi yang mempengaruhi juga akan semakin bertambah besar.

5. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian analisis konsumsi daya skuter listrik magneto maka kesimpulan yang dapat diambil yaitu :

Besarnya konsumsi daya terhadap jalan mendatar dan menanjak sangat berpengaruh, saat melewati jalan mendatar daya yang dibutuhkan lebih sedikit dibandingkan saat skuter listrik magneto melewati jalan yang menanjak. Pembebanan yang diterima oleh skuter listrik magneto juga sangat mempengaruhi oleh besarnya konsumsi daya pada skuter listrik magneto, dan kecepatan yang bertambah tinggi konsumsi daya yang diperlukan semakin besar saat melewati jalan mendatar maupun jalan menanjak.

Semakin berat beban yang diterima serta bertambahnya kecepatan maka konsumsi daya skuter listrik magneto akan semakin besar saat melewati jalan mendatar maupun pada saat melewati jalan menanjak karena motor pada skuter listrik magneto memerlukan pasokan daya baterai yang cukup agar performa skuter listrik magneto dapat optimal.

Daftar Pustaka

- [1] Dessy Gusnita. (2010). Green Transport: Transportasi Ramah Lingkungan Dan Kontribusinya Dalam Mengurangi Polusi

Udara. Jurnal Berita Dirgantara Vol.11.No.2 : 66-71.

- [2] Abas, N., Kalair, A., Khan, N. (2015). Review Of Fossil Fuels and Future Energy Technologies. Futures, 69 (May 2015), 31 – 49.
- [3] Deny Cahyadi & Daniel Fajar Puspita (2022). Urban Mining Baterai Lithium Bekas Sebagai Sumber Alternatif Bahan Baku Baterai Lithium. Jurnal Reksa Bumi. Vol 1. No 2 : 43 – 55.
- [4] Rolan Siregar, Daniel Escobar, Sendi Setiawan Djabumir, Asyari Daryus, Yefri Chan, Didik Sugiyanto, Husen Asbanu. (2021). Analisis Konsumsi Daya Sepeda Motor Listrik Beroda Tiga Sebagai Pengembangan Awal Kendaraan Ramah Lingkungan Untuk Penyandang Difabel. Jurnal Teknik Mesin – ITI Vol.5.No.2 : 99 – 108.
- [5] Eko Prasetyo, Dahmir dan Rachmat Ryfaldi (2018). Analisis Pengujian Sepeda Motor Listrik 3 KW Pada Jalan Mendatar Dan Menanjak. Prosiding Seminar Rekayasa Teknologi Fakultas Teknik Universitas Pancasila, 47 - 53
- [6] Saleh, Anang Supriadi, dan Amal Bahariawan. (2018). Energi Dan Elektrifikasi Pertanian. Yogyakarta. Deepublish.
- [7] Tasdik Darmana, Oktaria Handayani, Halim Rusjdi. (2018). Analisa Perbandingan Unjuk Kerja Pemakaian Bahan Bakar Motor Konvensional Dengan Motor Listrik ULC PLN. Vol 10. No.1
- [8] Eko Prasetyo, Dahmir dan Rachmat Ryfaldi (2018). Analisis Uji Jalan Sepeda Motor Listrik 1KW. Prosiding Seminar Rekayasa Teknologi Fakultas Teknik Universitas Pancasila, 199 – 208.



Rizal Leo Mahendra telah menyelesaikan studi program sarjana di Program Studi Teknik Mesin Universitas

Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan konversi energi.

PENGARUH VARIASI UKURAN BUTIR PASIR CETAK TERHADAP KEKUATAN IMPACT DAN MORFOLOGI PATAHAN HASIL CORAN KUNINGAN PADA PENGECCORAN EVAPORATIVE

Putu Nanta Pasek Eka Putra, I Ketut Gede Sugita, dan Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit, Jimbaran Bali

Abstrak

Kuningan adalah paduan tembaga (Cu) dan seng (Zn), salah satu cara pengolahan kuningan dengan cara pengecoran, metode pengecoran evaporative adalah pengecoran menggunakan polystyrene foam sebagai pola cetakan yang dibenamkan pada pasir cor, metode pengecoran ini memiliki keunggulan tingkat ketelitian yang baik. Untuk meningkatkan kekuatan hasil coran kuningan tersebut maka dilakukan penelitian tentang pengaruh variasi ukuran pasir pada kekuatan impact dan morfologi hasil coran kuningan pada pengecoran evaporative. Pada penelitian ini dilakukan proses pengecoran kuningan dengan metode evaporative casting dengan temperatur tuang 900°C pengecoran dilakukan dengan memvariasikan ukuran pasir silika 0,250; 0,315; 0,500 mm. Hasil pengujian impact didapatkan nilai kekuatan impact tertinggi pada spesimen dengan ukuran butir pasir 0,250mm yang memiliki rata-rata sebesar 0,26Nm/mm². Sedangkan nilai kekuatan impact terendah didapatkan pada spesimen dengan ukuran butir pasir 0,500mm yang memiliki rata-rata sebesar 0,24Nm/mm². Hasil pengamatan struktur makro yang terjadi pada spesimen dengan ukuran butir pasir 0,250mm cenderung memiliki kerapatan yang rapat. Sedangkan pada ukuran butir pasir 0,500 cenderung memiliki kerapatan yang renggang sehingga menyebabkan sangat rendahnya nilai kekuatan impact dibandingkan dengan ukuran butir pasir 0,250. Jadi, semakin lamanya proses pembekuan logam cair maka akan semakin uletnya kekerasan logam.

Kata Kunci : Evaporative Casting, Polystyrene Foam, Pengujian Impack, Struktur Makro

Abstract

Brass is a combination of copper (cu) and zinc (zn), one of the way the brass works with casting, the evaporative casting method is casting polystyrene foam as a immersed pattern of the sand cast, the casting method has a superior degree of precision. In order to increase the power of the brass yield, the study is conducted on a variation in the size of the sand on the power impact and morphology of the brass yield on the evaporative foundry. The study conducted a brass casting process with evaporative casting methods by casting temperature with a release of 900 concentrated casting done by varying the size of silica 0.250; 0.315; 0.500 mm. The test impact obtained the highest impact value on a specimen measuring 0.250mm of sand grains that had an average of 0.26nm /mm mm mm. Whereas the value of the lowest impact force was obtained on a specimen of 0.500mm sand grains that had an average of 0.24nm /mm mm difference. Observations of macrostructure in a specimen that measures 0.250mm of sand tend to have tight density. Whereas the size of the 0.500 grains of sand tends to have a slight density, causing a very low value impact force to be mitigated by the size of the 0.250 grains of sand. So the longer freezing of molten metal the more intense it gets..

Keywords: Evaporative Casting, Polystyrene Foam, Impack Testing, Macro Structure

1. Pendahuluan

Kuningan merupakan paduan logam antara tembaga (Cu) dan seng (Zn), dengan variasi komposisi seng dan tembaga yang menghasilkan jenis kuningan dengan sifat yang berbeda-beda. Komponen utama logam ini adalah tembaga dan seng yang memiliki komposisi berkisaran antara 60%Cu-40%Zn. Kuningan memiliki tingkat ketahanan dan kekuatan dari pada tembaga namun tidak sekuat baja atau *stainless steel*. Logam ini sangat mudah diaplikasikan ke dalam berbagai bentuk elemen mesin seperti pada *bearing cover* CVT sepeda motor.

Pengecoran adalah proses pembuatan objek dengan cara menuangkan logam cair ke

dalam cetakan dan kemudian membiarkannya membeku. Ada dua jenis pengecoran yang umum, yaitu pengecoran dengan cetakan non permanen dan cetakan permanen. Pengecoran dengan cetakan non permanen melibatkan penggunaan cetakan yang hanya dapat digunakan sekali karena harus dihancurkan untuk mengeluarkan objek yang sudah terbentuk. Beberapa jenis pengecoran cetakan non permanen antara lain pengecoran dengan cetakan pasir, pengecoran investment, dan pengecoran evaporative. Metode pengecoran evaporative adalah suatu teknik pengecoran yang menggunakan *polystyrene foam* sebagai pola cetakan yang ditempatkan dalam pasir cetak. Metode ini memiliki keunggulan dalam

menghasilkan tingkat ketelitian yang tinggi dalam pembentukan benda cor.

Pengecoran *lost foam* adalah metode pengecoran yang menggunakan *styrofoam* sebagai bahan pembuatan pola yang ditanam dalam pasir silika untuk membentuk cetakan. Ketika logam cair dituangkan ke dalam cetakan, *styrofoam* akan meleleh dan menguap sehingga ruang akan diisi oleh logam cair. [1]. Metode pengecoran ini mempunyai banyak keunggulan dalam hal membentuk pola yang rumit namun ada berbagai faktor yang dapat mempengaruhi hasil yang maksimal seperti pelapisan pola, jenis pasir cetak, kerapatan pola *polystyrene foam*, penggetaran, suhu penuangan dan tingkat kevakuman.

Pasir cetak adalah material yang berbentuk butiran halus digunakan untuk membuat cetakan yang akan digunakan dalam proses pengecoran evaporative. Pasir cetak dapat digunakan secara berkelanjutan selama dapat menahan suhu logam cair saat dituangkan [2]. Penggunaan pasir cetak dengan ukuran yang lebih kecil akan memperlambat waktu pengisian logam cair ke dalam cetakan. Kecepatan pengisian meningkat seiring dengan meningkatnya ukuran pasir cetak [3]. Hal ini disebabkan oleh ukuran pasir yang semakin kecil menyebabkan celah antar pasir menjadi lebih kecil, sehingga sisa gas sulit keluar melalui pasir.

Berdasarkan penelitian diatas, masih banyak yang dapat diperbaiki terkait dengan pengecoran evaporative. Maka dilakukan penelitian tentang pengaruh variasi ukuran pasir pada kekuatan impact dan morfologi hasil coran kuningan pada pengecoran evaporative.

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini, yaitu Untuk mengetahui pengaruh variasi ukuran pasir terhadap kekuatan impact pengecoran kuningan dan untuk mengetahui morfologi patahan coran kuningan hasil pengujian impact. Untuk mendapatkan hasil yang diinginkan dai banyaknya permasalahan yang ada, perlu dilakukan pembatasan antara lain:

1. Kecepatan penuangan pengecoran yang dilakukan sama
2. Jarak penuangan 20 mm.
3. Alat Pengukur Temperature Termokopel Type-K
4. Pendinginan menggunakan suhu ruang

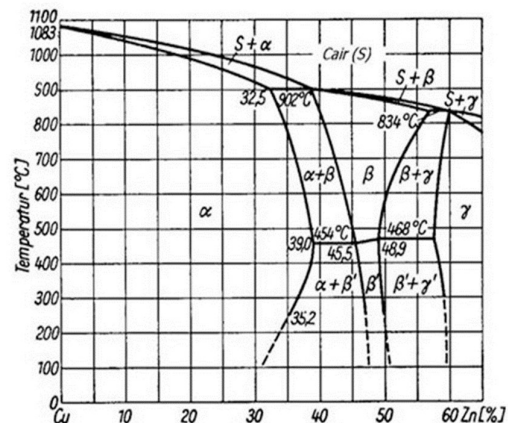
2. Dasar Teori

2.1. Kuningan

Kuningan adalah paduan logam yang terdiri dari tembaga (Cu) dan seng (Zn). Tembaga merupakan komponen utama dalam kuningan, dan biasanya kuningan disebut sebagai paduan tembaga. Warna kuningan bervariasi antara

coklat kemerahan gelap hingga cahaya kuning keperakan tergantung pada kandungan seng yang ada. Titik leleh kuningan berkisar antara 900°C hingga 1200°C tergantung pada komposisi paduannya. Paduan kuningan dipengaruhi oleh persentase kandungan tembaga dan seng dalam paduannya, yang dapat dilihat dalam diagram fasa kuningan. Dalam diagram fasa, fase α dengan bentuk struktur FCC cenderung memiliki sifat lentur dan dapat diolah dengan mesin, sedangkan fase β dengan struktur kisi BCC cenderung lebih keras dan lebih kuat, tetapi juga lebih rapuh dan mudah pecah.

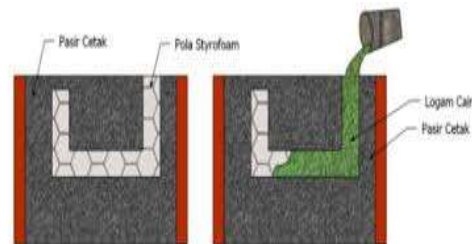
Gambar 1. Diagram Fasa Cu-Zn



2.2. Pengecoran Evaporative

Pada proses pengecoran ini, pola dan sistem saluran yang terbuat dari *polystyrene foam* ditanam dalam pasir cetak. Jalur penuangan ditempatkan dengan posisi yang muncul di permukaan pasir cetak sebagai saluran masuk bagi logam cair. Selanjutnya, logam cair dituangkan ke dalam cawan tuang sehingga secara bersamaan mengisi sistem saluran dan pola yang akan mencair atau menguap. [4].

Gambar 2. Pengecoran Type Evaporative



2.3. Polystyrene foam

Polystyrene foam umumnya juga digunakan pada industri pengecoran logam metode evaporative sebagai pola cetakan. Hal yang harus diperhatikan dalam pemilihan *polystyrene foam* sebagai pola adalah nilai densitas nya, nilai densitas material akan berpengaruh pada kekuatan pola, kekasaran permukaan pola, volume gas yang dihasilkan selama penguapan, penyusutan kestabilan

bentuk pola, dan pada saat pengecoran laju penuangan akan cenderung menurun seiring dengan bertambahnya nilai densitas pola [5].

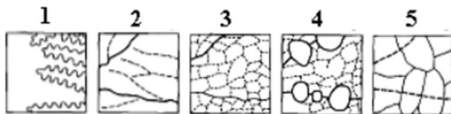
Gambar 3. *Polystyrene Foam*



2.4. Pembekuan logam

Pembekuan logam cair diawali ketika bagian logam yang bersentuhan dengan dinding cetakan mulai mendingin. Panas dari logam cair diserap oleh cetakan, sehingga bagian yang bersentuhan dengan cetakan mendingin hingga mencapai titik beku. Selama proses pembekuan, kristal-kristal mulai tumbuh dari inti-inti yang ada. Bagian dalam coran mendingin lebih lambat daripada bagian luar, sehingga kristal-kristal tumbuh dari inti ke arah bagian dalam coran. Perbedaan kecepatan pembekuan ini menghasilkan arah pembekuan yang sering disebut sebagai dendritic. [6].

Gambar 4. Pembekuan logam



3. Metode penelitian

Dalam penelitian ini ada alat dan bahan yang diperlukan. Alat dan bahan yang digunakan sebagai berikut:

3.1. Alat Penelitian

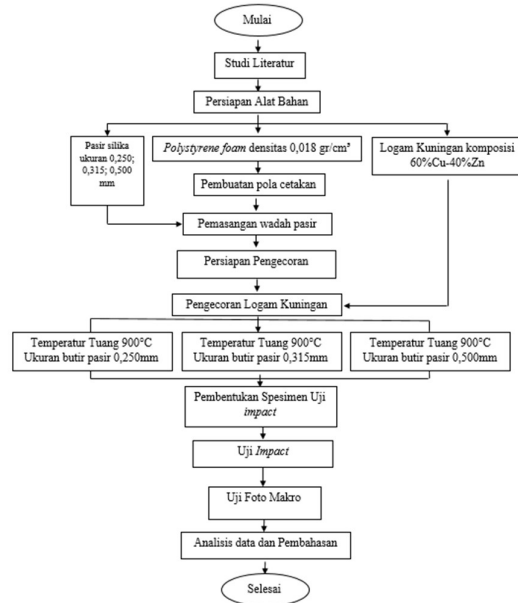
1. Pemotong *Polystyrene Foam* untuk membentuk pola
2. Tungku krusibel untuk mencairkan logam yang prinsip kerja dengan membakar arang didalam tungkunya dan ditiup menggunakan *blower*
3. Termokopel Tipe K merupakan alat ukur suhu
4. Alat ukur digunakan untuk mengukur pola.
5. Cetakan pasir terbuat dari kayu digunakan untuk membenam pola dan media pengecoran.
6. Kowi digunakan untuk wadah material kuningan
7. Ayakan pasir Ayakan pasir digunakan untuk mengayak pasir silika dengan menggunakan pengayakan dari ukuran

pengayakan pasir 0,250; 0,315; 0,500 mm.

3.2. Bahan

Bahan yang digunakan antara lain kuningan dengan komposisi 60%Cu-40%Zn, *polystyrene foam* dengan densitas $0,018 \text{ gr/cm}^3$, dan pasir silika

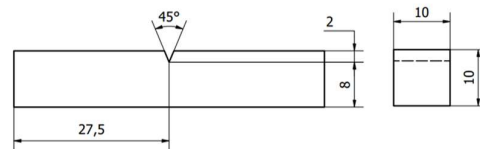
3.3. Diagram alir penelitian



Gambar 5. Diagram alir penelitian

3.5. Pembentukan Spesimen

Spesimen pengujian *impact* terlebih dahulu spesimen hasil pengecoran dipotong dengan lebar spesimen 10 mm panjang spesimen 55 mm, diameter spesimen 10 mm dan kedalaman takik 2 mm.



Gambar 6. Ukuran Spesimen Uji

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Perhitungan uji *impact*

Setelah melakukan proses pengujian diperoleh data yang akan dilakukan perhitungan menggunakan rumus persamaan:

- Energi Awal, $E_0 = W h_0 = W \cdot l (1 - \cos \alpha)$
- Energi Akhir, $E_1 = W h_1 = W \cdot l (1 - \cos \beta)$

Untuk jumlah energy yang diserap adalah:

$$\begin{aligned}\Delta E &= E_0 - E_1 \\ &= W (h_0 - h_1) \\ &= W \cdot l (\cos \alpha - \cos \beta)\end{aligned}$$

Keterangan:

W = Berat dari pendulum (N).

α = Sudut Awal ($^\circ$).

h_0 = Tinggi bandul sebelum dilepas (m).

h_1 = Tinggi bandul setelah dilepas (m).

β = Sudut Akhir ($^\circ$).

l = Lengan pendulum (m)

ΔE = Energi yang diserap (Nm)

Kekuatan impact dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$I_s = \Delta E / A$$

Keterangan:

I_s = Kekuatan Impak (Nm)

A = Luas Penampang (mm^2)

ΔE = beban energi yang diserap (Nm)

4.1. Data Uji Impact

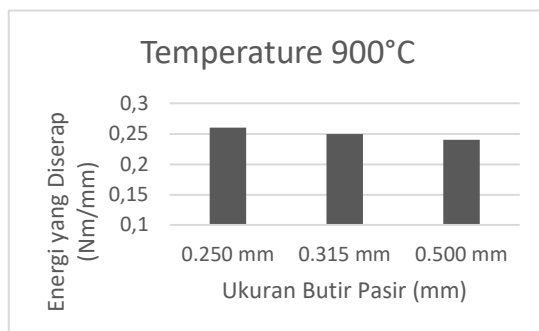
Adapun hasil dari proses perhitungan uji impact yang dirata-ratakan sebagai berikut:

BUTIR PASIR	A(mm ²)	ΔE (Nm)	I_s (Nm/mm ²)	RATA-RATA
0.250	87,13	23,50	0,27	0,26
	84,66	21,00	0,25	
	86,61	22,10	0,26	
0.315	87,13	22,80	0,26	0,25
	82,62	20,30	0,25	
	87,64	22,30	0,25	
0.500	83,13	21,80	0,26	0,24
	86,52	20,30	0,23	
	85,59	19,50	0,23	

Gambar 7. Data specimen uji Impact

4.2. Grafik uji impact

Untuk mengetahui hasil data yang telah diperoleh melalui uji *impact* tersebut, bisa menggunakan persamaan :



Gambar 8. Garik uji impact

Diagram diatas merupakan diagram hasil dari pengujian *impact* dengan temperatur 900°C. Dimana dari hasil diatas terlihat pada ukuran butir pasir 0,250mm memiliki kekuatan impact yang tinggi dikarenakan ukuran butir

pasir yang rapat, ukuran butir pasir yang sangat rapat ini menyebabkan pembekuan yang lama. Semakin bertambah besarnya ukuran butir pasir, maka kekuatan impact akan semakin menurun. Hal tersebut disebabkan karena ukuran butir pasir yang besar menyebabkan fermabilitas yang baik. Fermabilitas yang baik ini mengakibatkan mudah keluarnya uap panas saat pendinginan logam. Fermabilitas yang baik ini akan menyebabkan solidifikasi sehingga kekerasan material menjadi meningkat. Dengan meningkatnya kekerasan material jika diberikan beban kejut kekuatan material akan menjadi getas.

Dalam ukuran butir pasir 0,315mm, uap dari logam cair ini lebih mudah keluar dibandingkan pada butir pasir 0,250mm. Hal tersebut menyebabkan menurunnya kekuatan impact pada butir pasir 0,315mm. Ukuran butir pasir berpengaruh untuk proses pembekuan specimen, semakin besar ukuran pasir menyebabkan logam cair akan lebih cepat untuk membeku. Pada ukuran butir pasir 0,500mm kekuatan impact yang didapatkan terendah dibandingkan dengan ukuran butir pasir 0,315mm dan 0,250mm. Hal tersebut dipengaruhi oleh permabilitas yang baik. Karena ukuran butir pasir besar menyebabkan banyaknya rongga yang mengakibatkan cepat keluarnya uap dari logam cair, sehingga logam cair akan lebih cepat membeku. Oleh sebab itu pembekuan yang cepat ini mengakibatkan specimen pengecoran logam kuningan ini menjadi lebih getas dibandingkan dengan ukuran butir pasir 0,250mm

4.3. Hasil Pengujian Sturktur Makro



Gambar 9. Hasil foto makro morfologi patahan pengujian impact

Dari hasil pengambilan foto makro, dapat dilihat bahwa patahan pada specimen uji

impact memiliki karakteristik patahan granular atau patahan getas. Patahan ini ditandai dengan adanya patahan datar yang memiliki refleksi cahaya yang tinggi dan tampak mengkilap. Fenomena ini disebabkan oleh mekanisme pembelahan pada butir-butir kuningin yang memiliki sifat getas. Pada pengamatan struktur makro pada gambar menunjukkan bahwa secara keseluruhan struktur makro hasil coran pada tiga variasi butiran pasir yang berupa morfologi patahan yang dihasilkan dari pengujian *impact*. Perbedaan dari struktur makro hasil coran dengan berbagai variasi butiran pasir adalah terletak pada kekasaran dan kerapatan hasil pengecoran. Pada ukuran butiran 0,250mm kekasaran dan kerapatan yang terbentuk berukuran besar dan padat. Hal tersebut dikarenakan laju pendinginan logam cair yang lama sehingga uap panas susah untuk keluar dan terperangkap didalam pasir. Sehingga pendinginan logam cair tersebut menjadi lambat dan terbentuklah kerapatan yang rapat. Kerapatan hasil coran akan semakin mengecil seiring meningkatnya ukuran butiran pasir. Selain itu semakin besarnya kerapatan coran akan mengakibatkan semakin meningkatnya kekuatan *impact*. Pada ukuran butiran pasir 0,315mm struktur makro yang terbentuk lebih renggang dibandingkan pada butiran 0,250mm. Hal tersebut disebabkan oleh cepatnya pendinginan akibat besarnya butir pasir pada ukuran 0,315mm dibandingkan 0,250mm. Sehingga mengakibatkan kerapatan pengecoran yang renggang. Pada ukuran butir pasir 0,500mm struktur makro yang terbentuk sangat renggang dibandingkan pada butir pasir 0,250mm. Dikarenakan sangat cepatnya pendinginan sehingga logam cair belum sempat mengisi penuh ruang dari polystyrene foam yang menguap. Sehingga struktur makro yang terbentuk pada ukuran butir pasir 0,500mm ini memiliki bentuk yang sangat renggang dibandingkan ukuran butir pasir 0,250mm.

5. Kesimpulan

1. Ukuran butiran pasir berpengaruh terhadap kekuatan *impact* spesimen coran. Hasil pengujian *impact* yang telah dilakukan pada spesimen hasil coran kuningin disetiap ukuran butir pasir memiliki kekuatan *impact* tertinggi

didapatkan pada spesimen dengan ukuran butir pasir 0,250mm yang memiliki rata-rata kekuatan *impact* sebesar 0,26Nm/mm², sedangkan nilai kekuatan *impact* terendah didapatkan pada spesimen dengan ukuran butir pasir 0,500mm yang memiliki rata-rata kekuatan *impact* sebesar 0,24Nm/mm².

2. Pertumbuhan struktur makro yang terjadi pada spesimen dengan ukuran butir pasir 0,250mm cenderung memiliki kerapatan yang rapat. Sedangkan pada ukuran butir pasir 0,500mm cenderung memiliki kerapatan yang renggang sehingga menyebabkan rendahnya nilai kekuatan *impact* pada butir pasir 0,500mm dibandingkan dengan ukuran butir pasir 0,250mm. Jadi, semakin berkurangnya kerapatan maka nilai kekuatan *impact* akan semakin menurun.

Daftar Pustaka

- [1]. Askeland, D.R., 2001, **Encyclopedia of Materials: Science and Technology**, Elsevier Science Ltd.
- [2]. Lal, S., Khan, R. H., 1998, **Current status of vacuum sealed molding process**, Indian Foundry Journal, Vol. 27, pp.12–18.
- [3]. Sand, S., Shivkumar, S., 2003, **Influence of coating thickness and sand fineness on mold filling in the lost foam casting process**, Journal of Materials Science, Vol. 38, pp. 667–673.
- [4]. Zhao, Q., Gustafson, T.W., Hoover, M., Flemings, M. C., 2003, **Fold formation in the Lost Foam Aluminum Process**, in: S.K. Das (Ed.), TMS, Warrendale, pp. 121–132.
- [5]. PACYNIK, T. **Effect of foamed pattern density on the Lost Foam process**. *Archives of Foundry Engineering*, 2007, 7.3: 231-236.
- [6]. Rogo, Geger Kokok Cong Jiwo. **Pengaruh Variasi Suhu Tuang Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Pada Hasil Remelting Aluminium Tromol Supra X Dengan Cetakan Logam**. *Jurnal Nosel 2.2* (2013).



Putu Nanta Pasek Eka Putra menyelesaikan studi program sarjana di jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2019 sampai 2023. Saya menyelesaikan studi program sarjana dengan topik penelitian Pengaruh Variasi Ukuran Butir Pasir Cetak Terhadap Kekuatan *Impact* dan Morfologi Patahan Hasil Coran Kuningan pada Pengecoran *Evaporative*

Kaji eksperimental penyimpanan biogas dengan adsorben karbon aktif komersial

Dewa Made Antara Putra, Made Sucipta dan Hendra Wijaksana

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit Jimbaran, Bali

Abstrak

Biogas sebagai energi alternatif dapat digunakan sebagai bahan bakar. Saat ini masyarakat memanfaatkan biogas yang dihasilkan simantri menggunakan kantong plastik namun memiliki efisiensi penyimpanan yang rendah. Salah satu cara untuk meningkatkan penyimpanan biogas adalah menggunakan teknologi ANG (Adsorbed Natural Gas) dengan diisi karbon aktif sebagai adsorben. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kemampuan penyimpanan biogas yang diisi karbon aktif komersial berbahan dasar bambu yang beredar di pasaran. Karbon aktif yang digunakan melalui proses ditumbuk dan dilakukan pengayakan dengan ukuran mesh 70-230. Pengujian penyimpanan biogas dilakukan sampai tekanan tabung mencapai 100 psi dan massa karbon aktif 15 gram. Sebagai pembandingan pengujian juga dilakukan pada tabung kosong tanpa diisi karbon aktif. Pada tabung kosong massa biogas yang tersimpan pada tekanan 100 psi hanya 30,8 gram sedangkan pada tabung isi karbon aktif tekanan yang sama dapat menyimpan 32,1 gram.

Kata Kunci: Penyimpanan biogas, karbon aktif, ANG

Abstract

Biogas as an alternative energy can be used as fuel. Currently, the society uses biogas produced by Simantri using plastic bags but has low storage efficiency. One way to increase biogas storage is to use ANG (Adsorbed Natural Gas) technology filled with activated carbon as an adsorbent. The main objective of this study was to determine the storage capacity of biogas filled with commercial activated carbon made from bamboo on the market. The activated carbon used is ground and sieved with a mesh size of 70-230. The biogas storage test was carried out until the tube pressure reached 100 psi and the mass of activated carbon was 15 grams. As a comparison, the test was also carried out on empty tubes without activated carbon. In an empty cylinder, the mass of biogas stored at a pressure of 100 psi is only 30.8 grams, while in a tube filled with activated carbon, the same pressure can store 32.1 grams.

Keyword: Biogas storage, activated carbon, ANG

1. Pendahuluan

Energi saat ini telah menjadi kebutuhan dasar manusia dalam menjalankan kehidupan sehari-hari. Di Indonesia sumber energi yang banyak digunakan saat ini yaitu bahan bakar fosil yang memiliki jumlah yang terbatas, sehingga mengharuskan untuk mencari sumber energi alternative atau energi terbarukan seperti biogas [1]. Saat ini biogas yang dikembangkan oleh simantri, penggunaannya masih terbatas pada lokasi tangki penyimpanan (digester). Dalam rumah tangga masyarakat menggunakan biogas dengan disimpan dalam kantong plastik. Dengan menggunakan kantong plastik penyimpanan pada tekanan normal akan menghasilkan masa penyimpanan yang sedikit. Salah satu cara meningkatkan penyimpanan biogas adalah menggunakan teknologi ANG (*Adsorbed Natural Gas*) [2]. Dengan teknologi ANG ini, tabung penyimpanan biogas dapat diisi material berongga yang mempunyai luas permukaan lebih besar dibandingkan volumenya. Salah satu material yang dapat digunakan sebagai adsorben untuk menyimpan biogas adalah karbon aktif

Komposisi karbon aktif sebagian besar terdiri dari karbon yaitu sampai 87-97% dengan zat sisanya dapat berupa hydrogen, oksigen, nitrogen, sulfur dan

zat lainnya yang dihasilkan pada saat proses pembuatan [3]. Pembuatan karbon aktif melalui dua proses yaitu tahap karbonisasi dan tahap aktivasi. Karbonisasi adalah proses pembakaran untuk menghasilkan arang/karbon. Proses aktivasi karbon aktif bertujuan untuk menambah diameter pori-pori, meningkatkan volume pori dan porositas karbon aktif. Dengan luasnya permukaan yang dimiliki karbon aktif memiliki daya serap yang baik terhadap biogas.

Salah satu material organik penghasil karbon aktif adalah bambu karena memiliki porositas dan permukaan yang luas. Penelitian terbaru dari Sucipta, 2023 menunjukkan bahwa karbon aktif bambu juga dapat dimanfaatkan dalam respirator. Desain tersebut mengkombinasikan prefilter N95 dengan karbon aktif sebagai kombinasi filtrasi yang hasilnya menunjukkan sistem kombinasi ini dapat menyaring partikel kecil [4]. Selain pemanfaatan bambu sebagai karbon aktif dapat juga digunakan sebagai sumber energi untuk penerapan lainnya misalnya bahan bakar [5]

Dalam hal ini maka pengujian ini akan mengkaji permasalahan, yaitu bagaimana kemampuan penyimpanan biogas setelah ditambahkan karbon aktif komersial jika dibandingkan dengan tabung kosong. Untuk

membatasi penelitian akan ditetapkan batasan yaitu penelitian menggunakan karbon aktif komersial berbahan dasar bambu, menggunakan biogas yang sama dalam pengujian serta tekanan penyimpanan terukur sampai dengan 100 psi.

2. Dasar Teori

2.1 Karbon Aktif

Karbon aktif adalah salah satu adsorben yang saat ini banyak digunakan untuk proses adsorpsi. Hal ini dapat terjadi karena karbon aktif memiliki daya adsorpsi dan luas permukaan dari karbon aktif lebih baik dibandingkan penyerap lainnya [6]. Karbon aktif yang bagus umumnya memiliki luas area permukaan yang besar karena semakin besar luas permukaan maka daya adsorpsinya juga akan besar. Komposisi karbon aktif sebagian besar terdiri dari karbon yaitu sampai 87-97% dengan zat sisanya dapat berupa hidrogen, oksigen, nitrogen, sulfur dan zat lainnya yang dihasilkan pada saat proses pembuatan [3].



Gambar 1. Karbon Aktif

Sifat karbon aktif umumnya berkaitan dengan adsorpsi, bentuk pori, struktur pori dan gugus fungsi. Sifat adsorpsi karbon aktif bergantung dari porositas permukaan, tetapi industri saat ini lebih memperhatikan pada sifat adsorpsi daripada struktur pori. Bentuk pori-pori karbon aktif dapat berbentuk silinder, persegi panjang ataupun tidak beraturan. Gugus fungsi ini terbentuk saat proses aktivasi karbon aktif, karena adanya interaksi di permukaan karbon yang bereaksi dengan atom lainnya seperti oksigen dan nitrogen, yang dapat berasal dari suatu perlakuan ataupun dari lingkungan

2.2 Biogas

Biogas adalah gas yang dihasilkan dari proses fermentasi (pembusukan) bahan organik oleh bakteri anaerob. Bahan organik adalah bahan yang bisa terurai kembali menjadi tanah seperti sampah biomassa dan kotoran ternak (sapi, kambing, babi dan ayam) [7]. Biogas dapat dimanfaatkan dalam rumah tangga seperti memasak menggunakan kompor biogas. Dalam skala yang lebih luas, biogas juga dapat dikombinasikan dengan genset sebagai bahan bakar pembangkit tenaga listrik.

Biogas dalam komposisinya paling banyak mengandung gas metana (CH_4) dan karbondioksida (CO_2), dan berbagai kandungan senyawa lain dengan jumlah kecil seperti hidrogen sulfida (H_2S), hidrogen (H_2), ammonia (NH_3), serta oksigen (O_2) Adapun komposisi biogas secara umum dijelaskan seperti Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Komposisi Biogas [8]

Komponen	%Volum
Metana (CH_4)	55-75
Karbon dioksida (CO_2)	25-45
Nitrogen (N_2)	0-0.3
Hidrogen (H_2)	1-5
Hidrogen sulfida (H_2S)	0-3
Oksigen (O_2)	0.1-0.5

Salah satu cara pemurnian biogas dari zat pengotor seperti CO_2 , H_2S dan zat pengotor lainnya adalah dengan adsorpsi pada permukaan. Proses penyerapan ini menggunakan suatu permukaan padatan sebagai media transfer zat terlarut dalam gas yang didorong oleh gaya van der Waals. Adsorben yang digunakan adalah granul dengan luas permukaan yang besar per satuan volume. Karbon aktif, padatan dalam bentuk silika dan sebagainya yang disebut sebagai saringan molekuler digunakan untuk pembersihan gas.

2.3 ANG (Adsorbed Natural Gas)

Adsorbed natural gas (ANG), adalah teknologi penyimpanan gas alam dengan cara diserap oleh adsorben berpori misalnya karbon aktif. Dengan cara ini, penyimpanan dapat berlangsung pada tekanan yang relatif rendah (7-40 bar) dan pada suhu kamar [9]

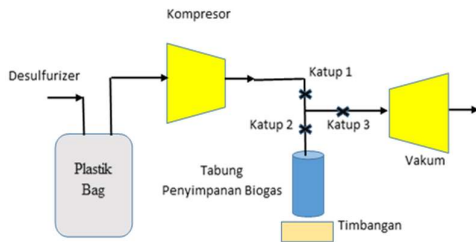
Tangki ANG dapat dengan mudah dibuat dengan dimensi yang dapat disesuaikan, tidak seperti bentuk tabung CNG yang berbentuk silinder dengan tekanan 200-280 bar sebagai media pengangkut bahan bakar gas. Tabung ANG mirip dengan tangki penyimpanan bensin konvensional yang dapat dibuat sesuai spesifikasi penggunaan dan dalam prosesnya tidak mengurangi kapasitas operasional tangki. Dengan metode penyimpanan ANG dapat berpotensi mengurangi potensi pemanasan global karena memerlukan energy yang lebih rendah untuk melakukan kompresi gas pada penyimpanannya, sehingga menghasilkan jumlah gas CO_2 yang lebih sedikit

3. Metode Penelitian

Pengujian penyimpanan ini dilakukan dengan menggunakan bahan biogas, karbon aktif dan tabung penyimpanan yang terbuat dari stainless steel dan sudah dipasang pressure gauge. Karbon aktif komersial yang digunakan berbahan dasar bambu yang sudah diayak dengan ukuran mesh 70-230.

Biogas yang digunakan diperoleh dari desulfurizer oleh simantri Pesalakan, Pejeng Kangin, Gianyar, Bali

Adapun teknik penyimpanan biogas seperti ditunjukkan dalam gambar berikut



Gambar 2 Skema Penyimpanan Biogas

Tahapan dalam penyimpanan biogas yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Vakum plastik bag kemudian isi dengan biogas
2. Timbang massa tabung stainless steel ketika masih kosong lalu masukan karbon aktif sebanyak 15 gram.
3. Vakum tabung penyimpanan biogas sampai tekanan -20psi
4. Nyalakan kompresor dan biarkan biogas mengalir dari plastic bag ke tabung sampai tekanan didalamnya sebesar 100 psi kemudian tutup katup tabung penyimpanan biogas.
5. Ukur massa tabung yang berisi karbon aktif dan biogas ketika tekanan 100 psi untuk mengetahui massa biogas tersimpan.
6. Buka katup tutup tabung sampai biogas keluar.
7. Setelah mencatat seluruh hasil yang didapatkan, tunjukan dalam bentuk grafik
8. Kesimpulan

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Massa Biogas

Massa penyimpanan biogas didapatkan dengan memasukan biogas menggunakan kompresor sampai tekanan dalam tabung biogas mencapai 100 psi. Pengujian dilakukan dengan melakukan penyimpanan biogas pada tabung kosong dan tabung diisi karbon aktif. Penyimpanan biogas pada tabung dilakukan sampai tekanan tabung mencapai 100 psi. Semakin bertambah tekanan maka massa penyimpanan akan semakin bertambah karena semakin besar kerapatan massa yang ada di dalam tabung. Pada tabung kosong massa penyimpanan biogas ketika tekanan 100 psi mencapai 30,8 gram. Pada tabung isi karbon aktif massa pada 100 psi massa biogas nya mencapai 32,1gram. Peningkatkan massa biogas ketika diisi karbon aktif disebabkan karena karbon aktif ikut menyerap biogas. Karbon aktif merupakan partikel yang memiliki pori dan memiliki luas permukaan yang besar sehingga memiliki daya serap. Daya serap karbon aktif ini terjadi karena adanya gas terjebak

atau terikat oleh gaya van der waals yang memberikan energi sehingga biogas dapat menempel di dinding pori-pori karbon aktif. Dengan luasnya pori adsorben maka akan menghasilkan molekul gas yang terserap dan menempel di pori karbon aktif dan akan meningkatkan massa penyimpanan [10]. Berikut merupakan grafik perbandingan massa biogas tersimpan pada tabung kosong dan tabung isi karbon aktif.



Gambar 3. Peningkatan Massa Biogas

5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, dapat ditarik kesimpulan bahwa terjadi peningkatan massa penyimpanan biogas setelah ditambahkan karbon aktif. Massa penyimpanan biogas pada tabung kosong 30,8 gram dan meningkat menjadi 32,1 gram ketika ditambahkan karbon aktif sebanyak 15 gram.

Daftar Pustaka

- [1]. Setyono, J. S., Mardiansjah, F.H., Astuti, M. F. K., 2019. *Potensi Pengembangan Energi Baru dan Terbarukan di Kota Semarang*. Jurnal Riptek, Vol.13, no. 2, pp. 177-186
- [2]. Negara, D.N.K.P., Nindhia T.G.T., Surata, I. W., Sucipta M., 2016. *Development and Application of Bamboo Activated Carbons and Their Potency as Adsorbent Material for Adsorbed Natural Gas (ANG)*, Key Engineering Materials, (705), pp. 126 – 130.
- [3]. Sudibandriyo, M., Pan, Z., Fitzgerald, J. E., Robinson, R. L., Gasem, K. A. M., 2003. *Adsorption of Methane, Nitrogen, Carbon Dioxide and their Binary Mixtures on Dry Activated Carbon at 318.2 K and Pressures to*

- 13.6 MPa., Langmuir, Vol.19, no.3, pp. 5323-5331
- [4]. Sucipta, M., Winata, I. M. P. A., Dewi, P. E., Sudarsana, P. B., Larasati M. S. P., 2023. *Development of respirator design for children using bamboo-based activated carbon filter and bipolar ionization.* Alexandria Engineering Journal, pp. 527–547.
- [5]. Sucipta, M., Negara, D.N.K.P., Nindhia T.G.T., Surata, I. W., 2017. *Characteristic of Ampel Bamboo as a Biomass Energy Source Potential in Bali.* Material Science and Engineering, 201 (1), 012032
- [6]. Walas, S. M., 1990. *Chemical Process Equipment Selection and Design.* Washington: Butterworth Heinemann
- [7]. Pertiwiningrum, A., 2015. *Instalasi Biogas.* Yogyakarta: CV. Kolom Cetak
- [8]. Fadli, D., Irsyad, M., Susila, M. D., 2013. *Kaji Eksperimental Sistem Penyimpanan Biogas dengan Metode Perkompresian dan Pendinginan Untuk Menghasilkan Gas Metana (CH₄) Sebagai Pengganti Bahan Bakar Gas LPG.* Jurnal Teknik Mesin Unila, vol.3, no.1
- [9]. Rozi, F., Martin, A., Nasrudin, 2014. *Adsorpsi Ishotermal Hidrogen Pada Karbon Aktif Berbahan Dasar Cangkang Sawit Pada Temperatur 45°C.* Jurnal FTEKNIK, vol.1, no.2.
- [10]. Erawati, E., Fernando, A., 2018. *Pengaruh Jenis Aktivator dan Ukuran Karbon Aktif Terhadap Pembuatan Adsorbent dari Serbuk Gergaji Kayu Sengon.* Jurnal Integrasi Proses, vol.7, no.2, pp. 58-66.

	Dewa Made Antara Putra telah menyelesaikan pendidikan di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2019 hingga 2023
Bidang penelitian yang diminati adalah topik tentang konversi energi, manajemen energi serta <i>Mechanical, Electrical dan Plumbing</i> gedung.	

Studi Eksperimental Pengaruh Karbon Aktif Terhadap Penyimpanan Biogas

Epenetus Rapael, Made Sucipta, dan Hendra Wijaksana
Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Penyimpanan biogas dengan kantong plastik yang dilakukan petani simantri di Bali dinilai tidak efektif karena plastik tidak mampu menahan tekanan tinggi sehingga kapasitas penyimpanannya kurang. Teknologi Adsorbed Natural Gas dipilih untuk menyimpan biogas dalam tabung bertekanan lebih tinggi dengan kapasitas yang lebih besar dengan menggunakan adsorben berupa karbon aktif dengan permukaan yang sangat luas. Sehingga biogas terjebak pada permukaan dalam tabung dan pada pori-pori karbon aktif. Penelitian dilakukan secara eksperimental dengan 3 proses utama yaitu proses karbonisasi pada temperatur 525°C diaktivasi pada temperatur 425°C dengan proses aktivasi uap dan uji penyimpanan biogas. Karbon aktif yang digunakan berukuran mesh 70-230, laju alir uap 100 g/min dengan tekanan dalam boiler 90 psi dan suhu 160°C. Selama proses aktivasi, pada saat mencapai temperatur 425°C, kemudian ditahan selama 2 jam. Tabung penyimpanan biogas berisi karbon aktif sebanyak 15 gram dibandingkan dengan tabung penyimpanan tanpa karbon aktif. Hasilnya, penyimpanan biogas dengan tabung berisi karbon aktif mampu menyimpan biogas lebih banyak dengan massa 35,2 gram dibandingkan dengan tabung tanpa karbon aktif yaitu hanya 30,9 gram.

Kata kunci: Karbon aktif, biogas, Adsorbed Natural Gas, penyimpanan biogas, aktivasi uap

Abstract

Biogas storage in plastic bags by Simantri farmers in Bali is considered ineffective because plastic is not able to withstand high pressure so the storage capacity is lacking. Adsorbed Natural Gas technology was chosen to store biogas in a higher pressure cylinder with a larger capacity using an adsorbent in the form of activated carbon with a very large surface area. So that the biogas is trapped on the inner surface of the tube and in the pores of the activated carbon. The research was carried out experimentally with 3 main processes, namely the carbonization process at a temperature of 525°C activated at a temperature of 425°C by a steam activation process and the biogas storage test. The activated carbon used has a mesh size of 70-230, a steam flow rate of 100 g/min with a pressure in the boiler of 90 psi and a temperature of 160°C. During the activation process, when it reaches a temperature of 425°C, it is then held for 2 hours. The biogas storage tube contains 15 grams of activated carbon compared to the storage tube without activated carbon. As a result, biogas storage in tubes filled with activated carbon is able to store more biogas with a mass of 35.2 grams compared to tubes without activated carbon, which is only 30.9 grams.

Keywords: Activated carbon, biogas, Adsorbed Natural Gas, biogas storage, steam activation

1. Pendahuluan

Di beberapa daerah di Bali, biogas dihasilkan dengan mengolah bahan baku organik kemudian hasilnya dimanfaatkan para petani untuk kebutuhan sehari-hari. Namun, kendala yang dihadapi adalah penyimpanan biogas menggunakan plastik tidak efisien dan tidak mampu menyimpan gas bertekanan tinggi. Solusi yang ditempuh yaitu dengan menerapkan teknologi *Absorbed Natural Gas* (ANG). Teknologi ini dapat menyimpan biogas dalam sebuah tabung dengan kapasitas yang lebih banyak dan dengan tekanan yang tinggi. Tabung di isi material berpori dan memiliki sifat adsorben/menyerap serta luas permukaan yang luas dibandingkan dengan volumenya. Teknologi ANG dengan adsorben karbon aktif berpotensi untuk dijadikan metode penyimpanan gas [1].

Karbon aktif adalah salah satu bahan yang bisa dijadikan adsorben pada teknologi ANG. Bahan baku karbon aktif dapat bersumber dari material organik dan anorganik. Bahan organik lebih umum digunakan oleh para petani karena limbah organik diperoleh dari pertanian, yaitu limbah hewan ternak maupun limbah

organik tanaman. Bambu adalah salah satu limbah material organik tanaman yang berpotensi dijadikan bahan manufaktur karbon aktif.

Karbon aktif berbahan dasar bambu memiliki karakteristik permukaan dan sifat porositas yang baik sehingga menunjukkan bahwa bambu berpotensi dijadikan bahan baku utama produksi karbon aktif [2]. Karbon aktif dari bambu juga digunakan untuk membuat elektroda superkapasitor [3]. Hasil menunjukkan bahwa kualitas tinggi karbon aktif berbasis bambu berpotensi dimanfaatkan dalam pembuatan elektroda superkapasitor. Yang terbaru, respirator untuk anak didesain dengan mengombinasikan karbon aktif berbasis bambu dengan prefilter N95 dan filter HEPA sebagai sistem filtrasi [4]. Kombinasi dari sistem filtrasi ini dapat menyaring partikel kecil. Bambu apus tidak hanya berpotensi dijadikan karbon aktif, tetapi juga bisa digunakan sebagai sumber energi untuk aplikasi [5].

Proses adsorpsi menggunakan karbon aktif merupakan metode berpotensi besar untuk penyimpanan biogas. Karbon aktif telah digunakan sebagai adsorben dalam penyimpanan gas alam

karena memiliki daya serap yang tinggi. Struktur karbon aktif yang halus dan berpori serta luas permukaan partikel yang sangat besar ($>1000 \text{ m}^2/\text{g}$) menghasilkan sifat adsorben yang kuat [6].

Kualitas karbon aktif sangat bergantung pada sifat dan proses pembuatan karbon aktif. Persiapan karbon aktif biasanya terdiri dari dua langkah, yaitu karbonisasi dan aktivasi. Proses karbonisasi menghilangkan unsur-unsur non-karbon, seperti hidrogen dan oksigen, dalam bentuk gas yang mudah menguap melalui dekomposisi pirolitik yang hanya menghasilkan struktur karbon rudimenter dengan massa tetap. Kemudian dilanjutkan dengan proses aktivasi untuk memperbesar diameter pori dan juga untuk membuat pori baru sehingga meningkatkan sifat adsorpsi arang [7].

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk melihat pengaruh temperatur karbonisasi. Temperatur karbonisasi yang semakin tinggi akan menurunkan nilai bilangan Iodin. Tidak hanya itu, luas permukaan aktif, dan kapasitas dari karbon aktif akan menurun [8]. Karakteristik CPH (*Capillary Pumping Head*) diteliti dengan memvariasikan temperatur karbonisasi [9]. Nilai CPH tertinggi diperoleh pada temperature 500°C sehingga berpotensi besar untuk dijadikan material *pad* pada *direct evaporating cooling*.

Pembuatan karbon aktif dari bambu dimana uap air atau *steam* dan nitrogen digunakan pada proses aktivasi sudah dilakukan [10]. Hasilnya nitrogen tidak berpengaruh pada proses aktivasi dan tidak memperluas rongga karbon aktif. Oleh karena itu, penelitian ini hanya menggunakan uap air sebagai aktivator dalam proses aktivasi karbon aktif.

Pada penelitian ini, pengaruh karbon aktif terhadap penyimpanan biogas dengan tabung berisi karbon aktif dan tabung tanpa karbon aktif akan dilihat. Untuk mengetahui penyimpanan yang terbaik, jumlah massa biogas yang dapat dimanfaatkan setelah dilakukan pengujian penyimpanan biogas akan dibandingkan tiap sampel. Penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi untuk pengembangan alat untuk penyimpanan biogas.

2. Dasar Teori

2.1. Karbon Aktif

Karbon aktif terbuat dari senyawa berbahan dasar organik yang mengandung unsur karbon/arang yang telah diolah secara khusus untuk mencapai daya adsorpsi yang tinggi. Tergantung pada ukuran pori dan luas permukaan, karbon aktif mampu menyerap bermacam-macam gas dan senyawa kimia [11]. Kemampuan penyerapan karbon aktif sangat tinggi, berkisar antara 25% sampai 100% dari massa karbon aktif. Karbon aktif memiliki diameter pori-pori 200 \AA , berbentuk butiran atau pelet dan diaplikasikan pada pemulihan pelarut, katalis, dan pemurnian gas.

2.2. Adsorbed Natural Gas (ANG)

Pada ANG, digunakan tabung berisi adsorben untuk menyimpan gas. Berdasarkan cara kerja

adsorpsi, adsorbat yaitu gas, terperangkap dalam pori adsorben yaitu karbon aktif. Ini disebabkan gaya oleh van der Waals, yaitu gaya tarik pada permukaan pori adsorben. Pada pori adsorben saat tekanan dan temperatur yang konstan, molekul-molekul gas saling berhimpit. Ini menyebabkan gas berubah menjadi pseudo-liquid atau mendekati jenuh. Dengan begitu gas dapat disimpan dalam densitas energi yang lebih tinggi [12].

2.3. Karbonisasi

Karbonisasi adalah proses untuk menghasilkan arang dengan memanaskan biomassa padat pada temperatur antara $400\text{-}600^\circ\text{C}$. Selama proses karbonisasi pada bahan mentah, sebagian besar unsur nonkarbon yang mudah menguap seperti oksigen, hidrogen, dan nitrogen dihilangkan oleh dekomposisi pirolitik. Residu atom karbon dasar berubah bentuk menjadi tumpukan lembaran aromatik datar yang saling terkait secara acak. Lembaran aromatik ini tersusun tidak beraturan, yang menyisakan celah bebas. Celah ini memunculkan pori-pori, yang membuat karbon aktif menjadi penyerap yang sangat baik [11].

2.4. Aktivasi Fisika

Dalam aktivasi fisika, digunakan panas, uap atau CO_2 untuk memutuskan rantai karbon dari senyawa organik. Pori arang ikut mengembang sehingga menambah luas permukaannya. Selain itu gas-gas ini menghilangkan unsur yang mudah menguap serta hidrokarbon pengotor yang menutup pori-pori pada arang yang dihasilkan saat proses karbonisasi [13]. Aktivasi fisika dilakukan untuk meningkatkan volume dan memperluas diameter pori yang terbentuk saat proses karbonisasi. Pori-pori baru juga dapat terbentuk pada proses aktivasi fisika.

3. Metode Penelitian

3.1 Variabel Penelitian

1. Variabel bebas yaitu temperatur karbonisasi 525°C dan temperatur aktivasi 425°C .
2. Variabel terikat yaitu massa penyimpanan biogas.
3. Variabel kontrol yaitu:
 - a. Ukuran mesh 70-230.
 - b. Laju alir massa uap 100 g/min .
 - c. Tekanan dan suhu uap dalam boiler masing-masing 90 psi dan 160°C .

3.2 Alat dan Bahan

- A. Alat
 1. Kompresor
 2. Reaktor
 3. MCB 32 A
 4. Saringan *mesh*
 5. Pompa vakum
 6. Tabung penyimpanan
 7. Boiler
 8. Thermocontroller
 9. Timbangan digital

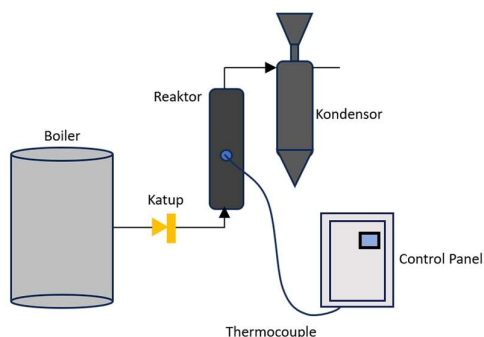
10. *Thermocouple*
11. *Thermometer uap*
12. *MCB 32 A Heater*
13. *Kontaktor 32 A*
14. *Kantong plastik*
15. *Manifold*
16. *Selang uap*
17. *Kondensor*
18. *Pressure gauge*
19. *Plat Orifice*

B. Bahan

1. Bambu
2. Biogas
3. Air

3.3 Pembuatan Karbon Aktif

Gambar 1 menunjukkan alat untuk membuat karbon aktif.



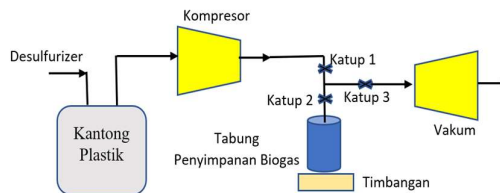
Gambar 1. Skematik alat *pure steam activation*

Bahan bambu dipotong menjadi bentuk persegi panjang kecil selanjutnya di oven untuk menghilangkan kadar uap air. Bambu sebanyak 900 gram di masukkan ke dalam reaktor untuk dikarbonisasi. Setelah dikarbonisasi, karbon di aktivasi dengan dengan cara dialirkan uap di dalam reaktor.

3.4 Uji Penyimpanan Biogas

Berikut adalah Langkah-langkah menguji penyimpanan biogas.

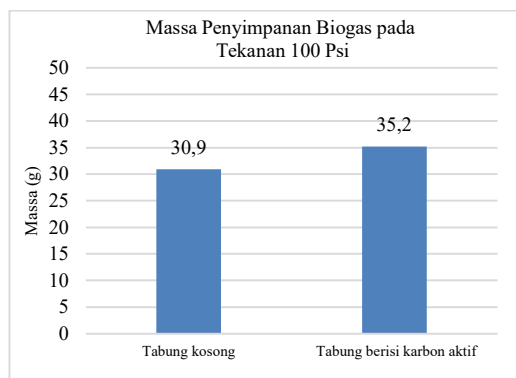
1. Karbon aktif yang sudah ditimbang dengan timbangan digital dimasukkan kedalam tabung.
2. Tabung diletakkan di atas timbangan kemudian divakum menggunakan pompa vakum hingga mencapai tekanan -20 psi.
3. Biogas dari kantong plastik kemudian di alirkan ke dalam tabung menggunakan kompresor dan selang manifold.
4. Massa dicatat saat tekanan mencapai 100 psi.
5. Biogas dan karbon aktif dikeluarkan lalu tabung dibersihkan.
6. Lakukan langkah 2-5 untuk penyimpanan dengan tabung kosong.



Gambar 2. Skema tahap penyimpanan biogas

4. Hasil dan Pembahasan

Perbandingan massa penyimpanan biogas dapat dilihat pada Gambar 3. Tabung kosong memiliki massa lebih sedikit yaitu 30,9 gram. Sedangkan penyimpanan biogas dengan tabung berisi karbon aktif mencapai massa penyimpanan sebanyak 35,2 gram.



Gambar 3. Hasil pengujian

Berdasarkan hasil di atas, dapat disimpulkan bahwa tabung berisi karbon aktif berhasil dalam menambah kapasitas penyimpanan biogas dibandingkan dengan tabung kosong. Hal ini dikarenakan tabung bersisi karbon aktif memiliki permukaan yang lebih luas dibandingkan dengan tabung kosong. Pori-pori pada karbon aktif yang sangat luas menjerat biogas dalam jumlah yang banyak. Ini dikenal dengan gaya van der Waals. Gaya ini menghasilkan energi yang memungkinkan terjadinya proses penyerapan molekul gas ke permukaan pori karbon aktif dan pada saat yang sama molekul gas termampatkan sehingga gas menjadi padat [14].

5. Kesimpulan

Penelitian untuk menganalisis pengaruh temperatur karbonisasi karbon aktif terhadap penyimpanan biogas telah dilakukan. Berdasarkan hasil yang didapat, dapat disimpulkan bahwa penyimpanan biogas dengan tabung berisi karbon

aktif mampu menyimpan biogas lebih banyak dengan massa 35,2 gram dibandingkan dengan tabung tanpa karbon aktif yaitu hanya 30,9 gram.

Daftar Pustaka

- [1] Negara, D.N.K.P., Nindhia T.G.T., Surata, I.W., Sucipta, M., 2016, *Development and Application of Bamboo Activated Carbons and Their Potency as Adsorbent Material for Adsorbed Natural Gas (ANG)*, Key Engineering Materials, (705), 126 – 130.
- [2] Mahanim, S., Asma, I. W., Rafidah, J., Puad, E., & Shahrudin, H., 2011, *Production of Activated Carbon from Industrial Bamboo Wastes*. Journal of Tropical Forest Science (45), 417-424. (Issue 4).
- [3] Tumimomor, F., Maddu, A., & Pari, G., 2017, *Pemanfaatan Karbon Aaktif dari Bambu sebagai Elektroda Supercapacitor*. Jurnal Ilmiah Sains, 1(17), 74-79.
- [4] Sucipta, M., Winata, I. M. P. A., Dewi, P. E., Sudarsana, P. B., & Larasati, M. S. P., 2023, *Development of respirator design for children using bamboo-based activated carbon filter and bipolar ionization*. Alexandria Engineering Journal, (63), 527-547. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.08.014>
- [5] Sucipta, M., Negara, D.N.K.P., Nindhia, T.G.T., Surata, I.W., 2017, *Characteristic of Ampel Bamboo as a Biomass Energy Source Potential in Bali*. Material Science and Engineering, 201 (1), 012032.
- [6] Tadda, M. A., Ahsan, A., Shitu, A., Elsergany, M., Arunkumar, T., Jose, B., Abdur Razzaque, M., & Nik Daud, N., 2016, *A review on activated carbon: process, application and prospects*. Journal of Advanced Civil Engineering Practice and Research, 1 (2), 7-13.
- [7] Hu, Z., Srinivasan, M. P., & Ni, Y., 2001, *Novel activation process for preparing highly microporous and mesoporous activated carbons*. Carbon, 39(6), 877-886. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S008-6223\(00\)00198-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S008-6223(00)00198-6)
- [8] Nurdiansah, H., Susanti, D., 2013, *Pengaruh Variasi Temperatur Karbonisasi dan Temperatur Aktivasi fisika dari elektroda karbon aktif Tempurung kelapa*. Jurnal Teknik Pomits, (2), 13-18.
- [9] Sitompul, I. D., Sucipta, M., & Wijaksana, H., 2021, *Studi Eksperimental Karakteristik Capillary Pumping Head pada Variasi Temperatur Karbonisasi Karbon Aktif Bambu Betung*. IPTEKMA, 1 (9), 1-10.
- [10] Wibawa, I. M. S., 2021, *Pembuatan Karbon Aktif Dengan Sistem Steam Activation Untuk Penyimpanan Biogas Dengan Variasi Diameter Karbon Aktif*, Skripsi Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Udayana, Bali.
- [11] Mammoria, D. C., 2016, *Pembuatan Karbon Aktif Dari Kulit Durian Sebagai Adsorben Zat Warna Dari Limbah Cair Tenun Songket Dengan Aktivator Naoh*, Pp 4-33.
- [12] Roop C. B., Meenakshi G., 2005, *Activated Carbon Adsorption*. CRC Press, Boca Raton.
- [13] Lusiana, 2018, *Spesifikasi Teknis Tabung ANG (Asorbed Natural Gas) untuk Sektor Rumah Tangga*. Lembaran Publikasi Minyak Dan Gas Bumi, (52), 113-120. <http://www.journal.lemigas.esdm.go.id>
- [14] Bansal R C., 1988, *Active Carbon*, Marcel Dekker, New York



Epenetus Rapael
menyelesaikan studi program sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2019 sampai 2023. Ia menyelesaikan studi program sarjana dengan topik penelitian konversi energi.

Penggunaan Karbon Aktif Bambu Apus Sebagai Media Penyimpanan Biogas

I Gede Krisna Pratama, Made Sucipta, dan Hendra Wijaksana
Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Simantri didirikan di setiap desa di Bali untuk meningkatkan kualitas hasil produksi tanaman, selain itu Simantri juga mendukung upaya pemerintah dalam pengembangan energi terbarukan yaitu biogas. Penyimpanan biogas pada Simantri saat ini hanya menggunakan kantong plastik dengan efisiensi penyimpanan yang rendah dalam menyimpan biogas. Salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi dalam penyimpanan biogas adalah dengan menggunakan menggunakan karbon aktif yang berperan sebagai adsorben. Inti dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kemampuan karbon aktif dalam penyimpanan biogas. Karbon aktif terbuat dari bambu apus dengan menggunakan suhu karbonisasi 625°C kemudian diaktivasi dengan metode aktivasi uap dengan laju alir massa steam 50 g/menit. Proses pengujian dilakukan dengan cara membandingkan pengisian biogas ke dalam tabung penyimpanan kosong dan tabung penyimpanan yang telah berisi karbon aktif sebanyak 15 gram yang dikompresi hingga tekanan 100 psi. Tabung penyimpanan biogas kosong memiliki massa penyimpanan sebesar 30,4 gram, sedangkan tabung penyimpanan biogas yang berisi karbon aktif memiliki massa penyimpanan yang lebih yaitu sebesar 39,3 gram terhadap biogas bertekanan 100 psi.

Kata Kunci: Karbon aktif, aktivasi uap, penyimpanan biogas

Abstract

Simantri was established in every village in Bali to improve the quality of crop production, besides that Simantri also supports the government's efforts to develop renewable energy, namely biogas. Biogas storage at Simantri currently only uses plastic bags with low storage efficiency in storing biogas. One way to increase efficiency in biogas storage is to use activated carbon which acts as an adsorbent. The objective of this research is to know the ability of activated carbon in biogas storage. Activated carbon is made from apus bamboo using a carbonization temperature of 625°C and then activated by the steam activation method with a steam mass flow rate of 50 g/minute. The testing process was carried out by comparing the filling of biogas into empty storage tubes and storage tubes containing 15 grams of activated carbon compressed to a pressure of 100 psi. Empty biogas storage tubes have a storage mass of 30.4 grams, while biogas storage tubes containing activated carbon have a larger storage mass of 39.3 grams for 100 psi pressure biogas.

Keywords: Activated carbon, steam activation, biogas storage

1. Pendahuluan

Organisasi Simantri (Sistem Pertanian Terintegrasi) didirikan di setiap desa di Bali untuk meningkatkan kualitas hasil produksi tanaman, selain itu Simantri juga mendukung upaya pemerintah dalam pengembangan energi terbarukan (*renewable energy*) yaitu biogas. Selama ini biogas yang dihasilkan dari Simantri hanya digunakan di lokasi digester karena jarak yang cukup jauh antara rumah warga dengan lokasi Simantri. Sebagian biogas yang dihasilkan dari Simantri digunakan untuk kegiatan memasak warga, namun metode penyimpanannya hanya menggunakan kantong plastik dengan daya tampung yang terbatas. Kantong plastik memiliki permukaan yang tipis, sehingga memiliki kekuatan tarik yang rendah. Jika tekanan yang diberikan pada kantong plastik cukup tinggi, maka kantong plastik akan mengalami kebocoran dan menjadi tidak efektif untuk penyimpanan biogas. Terdapat teknologi ANG (*Adsorbed natural Gas*) yang dapat menyimpan biogas dengan kapasitas lebih banyak [1]. Dengan teknologi ini tabung penyimpanan biogas diisi dengan material

berongga dengan luas permukaan yang relatif lebih besar dibandingkan dengan volumenya, salah satunya adalah karbon aktif.

Bahan organik maupun anorganik dapat menjadi bahan dasar dalam pembuatan karbon aktif. Bahan organik yang dapat digunakan salah satunya adalah bambu. Bambu merupakan tumbuhan yang sangat mudah ditemukan di Bali karena tumbuhan ini dapat tumbuh dengan sangat cepat dan menjadi tanaman budidaya. Bambu dapat tumbuh didataran rendah hingga dataran tinggi dengan kisaran ketinggian 300 m dpl. Umumnya bambu ditemukan di tempat terbuka yang tidak memiliki genangan air. Selain itu, bambu adalah biomassa dengan sifat kimia dan komposisi yang memenuhi persyaratan sebagai bahan bakar yang berkualitas dan juga ramah lingkungan [2].

Produksi karbon aktif menggunakan aktivasi fisika yaitu dengan pemanasan *steam* dapat menghasilkan karbon aktif dengan peningkatan luas permukaan BET sebesar 552 m² atau sebesar 42% pada suhu aktivasi 700°C dengan waktu 1 jam yang memiliki karakteristik hampir serupa dengan karbon

aktif komersial yang biasa ditemukan pada penyimpanan biogas [3].

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini, yaitu untuk mengetahui pengaruh karbon aktif berbahan bambu apus dengan menggunakan proses *steam activation* terhadap kemampuan penyimpanan biogas. Permasalahan yang dikaji dalam penelitian ini yaitu bagaimana pengaruh dari karbon aktif dari bambu apus dengan menggunakan proses *steam activation* terhadap kemampuan penyimpanan biogas. Agar mendapat hasil yang lebih presisi dari permasalahan yang ada, maka perlu adanya pembatasan. Pembatasan yang diperlukan adalah kondisi pengujian dilakukan dengan menggunakan biogas yang sama, tekanan terhadap penyimpanan biogas terukur hanya sampai dengan 100 psi.

2. Dasar Teori

2.1. Karbon Aktif

Karbon aktif adalah senyawa berbentuk amorf yang terbuat dari bahan tertentu yang berbentuk karbon yang digunakan secara spesifik guna mencapai kapasitas adsorpsi yang tinggi [4]. Kapasitas penyerapan karbon aktif sangat tinggi, yaitu sekitar 25-100% dari massa karbon aktif. Karbon aktif sendiri memiliki ketentuan bahwa semakin tinggi bilangan iodannya maka semakin tinggi pula daya serap dari karbon aktif tersebut, tetapi industri lebih berfokus pada sifat adsorpsi daripada struktur pori.

Dalam memperoleh data, karbon Aktif terbuat dari bambu apus yang telah ditumbuk hingga menjadi bubuk dengan ukuran 70-230 mesh seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Karbon aktif berbentuk bubuk

2.2. Biogas

Biogas merupakan salah satu jenis dari gas yang mudah terbakar yang biasanya diperoleh dari kegiatan fermentasi (pemecahan) limbah organik yang berasal dari bakteri anaerob (bakteri tanpa oksigen di

udara). Bahan organik merupakan bahan yang dapat dengan mudah terurai kembali di dalam tanah. Salah satu contohnya, kotoran hewan dan pupuk kandang [5]. Kelebihan yang dimiliki oleh biogas dibandingkan dengan bahan bakar lainnya adalah proses pembuatannya yang lebih sederhana, sumber bahan yang mudah didapatkan dan aman jika dengan instalasi yang tepat seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Desifulizer penyimpan biogas

2.3. Teknik Penyimpanan Gas Alam

Gas alam disebut juga gas bumi, mengandung 90% metana. Gas alam biasanya dapat dengan mudah diperoleh pada ladang gas alam seperti, ladang minyak maupun batu bara. Saat Gas dengan kandungan metana tinggi dihasilkan oleh bakteri anaerobik pada bahan organik tidak termasuk fosil, maka gas tersebut disebut dengan biogas [6]. Salah satu metode yang dapat diterapkan dalam penyimpanan gas alam yaitu dengan metode *Adsorbed Natural Gas (ANG)*. Metode ini merupakan teknologi dalam hal penyimpanan gas alam dengan cara diserap oleh adsorbed berpori sebagai contoh karbon aktif dengan tekanan rendah sekitar 7-40 bar dengan suhu ruangan

3. Metode penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam proses memperoleh data adalah sebagai berikut:

3.1. Alat

1. Alat *steam activation*
2. Unit sensor biogas
3. *Plastic bag*
4. Kompresor
5. Pompa Vakum
6. Tabung Penyimpanan Biogas
7. Timbangan
8. Manivold

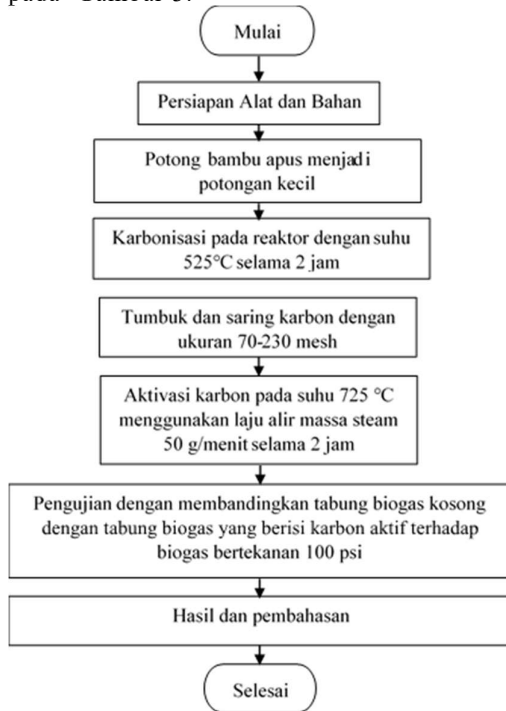
3.2. Bahan

Bahan yang digunakan antara lain:

1. Bambu apus
2. Air
3. Biogas.

3.3. Diagram alir penelitian

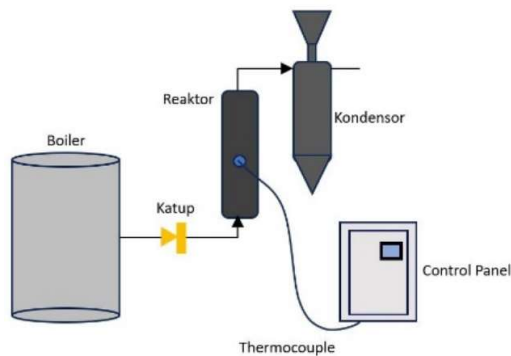
Penelitian ini melewati beberapa tahapan penelitian seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir penelitian

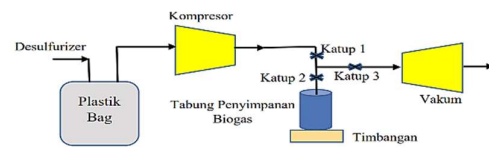
3.4. Metode Uji

Dalam pengujian, untuk memproduksi karbon aktif haruslah melewati tahapan karbonisasi dan aktivasi dimana untuk proses karbonisasi akan menggunakan suhu 625°C dan dilakukan *holding time* selama 2 jam. Setelah itu, karbon yang dihasilkan akan ditumbuk hingga mencapai ukuran mesh 70-230 mesh dan dilanjutkan dengan memasukkan karbon yang telah ditumbuk ke dalam reaktor untuk proses aktivasi dengan menggunakan suhu 725°C dan laju alir massa *steam* 50g/menit selama 2 jam. Proses ini menggunakan alat *steam activation* seperti Gambar 4.



Gambar 4. Skema alat *steam activation*

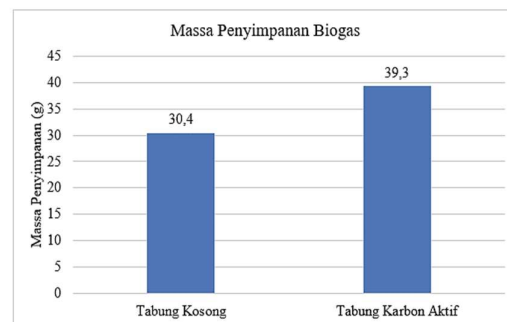
Setelah proses aktivasi, karbon aktif yang dihasilkan dimasukkan kedalam tabung penyimpanan biogas sebanyak 15 gram. Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan massa pada tabung penyimpanan biogas kosong dan tabung penyimpanan biogas yang telah berisi karbon aktif terhadap biogas dengan tekanan 100 psi. Sebelum pengujian dilakukan, tabung penyimpanan biogas kosong maupun tabung penyimpanan biogas yang berisi karbon aktif divakum hingga tekanan -20 psi dan kemudian dikompresikan biogas hingga mencapai tekanan 100 psi. Massa Penyimpanan biogas terhadap tabung kosong maupun tabung berisi karbon aktif dapat diketahui dengan cara meletakkan timbangan digital dibawah tabung yang dikompresikan biogas sebanyak 100 psi. seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Skema penyimpanan biogas

4. Hasil dan Pembahasan

Massa biogas pada tabung penyimpanan biogas kosong maupun berisi karbon aktif yang dapat tersimpan pada tekanan 100 psi ditunjukkan oleh diagram batang pada Gambar 6.



Gambar 6. Massa penyimpanan biogas pada tekanan 100 psi

Berdasarkan grafik pada Gambar 6, terjadi peningkatan massa penyimpanan biogas pada saat biogas disimpan di dalam tabung penyimpanan biogas yang telah berisi karbon aktif. Tabung kosong tanpa karbon aktif hanya mampu menyimpan biogas sebanyak 30,4 gram pada tekanan 100 psi. Sedangkan pada tabung penyimpanan biogas yang berisi karbon aktif mampu menyimpan biogas sebanyak 39,3 gram pada tekanan 100 psi. Meningkatnya daya kapasitas

penyimpanan biogas ini berkaitan dengan karbon aktif yang memiliki pori yang bersifat adsorben. Jumlah dan luasan pori dari karbon aktif terbentuk dikarenakan adanya pengaruh suhu yang diberikan pada saat proses karbonisasi dalam pembuatan karbon aktif ditambah dengan adanya *steam activation* yang dapat membersihkan pori yang telah terbuka dari zat-zat pengotor. Pori yang telah terbuka pada karbon aktif menyebabkan gas terperangkap maupun terikat dengan adanya gaya *Van Der Waals* dipermukaan karbon aktif, dimana gaya tersebut memberikan daya untuk menyerap molekul gas ke dinding pori [7].

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian yang dilakukan dengan analisa perbandingan tabung penyimpanan biogas kosong dan berisi karbon aktif dapat disimpulkan bahwa massa tabung penyimpanan biogas yang berisi karbon aktif mengalami peningkatan sebesar 8,9 gram jika dibandingkan dengan tabung kosong pada saat dikompresikan biogas dengan tekanan 100 psi.

Daftar Pustaka

- [1] Negara, D. N. K. P., Nindhia, T. G. T., Surata, I. W., & Sucipta, M., 2016, *Development and application of bamboo activated carbons and their potency as adsorbent material for adsorbed natural gas (ANG)*, Key Engineering Materials, 705, pp. 126–130.
- [2] Sucipta, M., Putra Negara, D. N. K., Tirta Nindhia, T. G., & Surata, I. W., 2017, *Characteristics of ampel bamboo as a biomass energy source potential in Bali*, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 201, pp. 1-5.
- [3] Pallarés, J., 2018, *Production and characterization of activated carbon from barley straw by physical activation with carbon dioxide and steam*, Biomass and Bioenergy, 115, pp. 64-73.
- [4] Tumimomor, F., Maddu, A., Pari, G, 2017, *Pemanfaatan karbon aktif dari bambu sebagai elektroda superkapasitor*, Jurnal Ilmiah Sains, Vol. 17 No. 1, pp. 73-79.
- [5] Amar, L., 2020, *Perbandingan kualitas biogas dari berbagai jenis feses ternak yang diproduksi dengan digester portable*, Jurnal Agriekstensia, Vol. 19 No. 2, pp. 141-149.
- [6] Pratama, I., 2014, *Adsorption isothermal methane gas with mass flow rate of 10 slpm and 20 slpm for adsorbed natural gas storage*, Jom FTEKNIK, Vol. 1 No.2, pp. 1-15
- [7] Tanjungpura, U., Suharman, A. and Vinsiah, R., 2015, *Pengaruh variasi temperatur karbonisasi terhadap daya serap karbon aktif cangkang kulit buah karet (hevea brasilliensis)*, Prosiding SEMIRATA bidang MIPA BKS-PTN Barat, pp. 294-303.



I Gede Krisna Pratama telah menyelesaikan Pendidikan di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2019 hingga 2023.

Bidang penelitian yang diminati adalah topik tentang konversi energi, *new renewable energy*, dan plumbing

Pengaruh Variasi Kecepatan Sepeda Motor Listrik Terhadap Konsumsi Daya Baterai

^{1,2}I Gusti Ngurah Agung Ananta Maha Putra, ^{1,2*}Wayan Nata Septiadi, dan ^{1,2}I Wayan Bandem Adnyana

¹Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit, Jimbaran Bali

²Laboratorium HeatPipe dan Nano Teknologi, Fakultas Teknik Universitas Udayana

Abstrak

Sepeda motor listrik *simple magnito* merupakan rancangan alternatif alat transportasi yang menggunakan daya listrik sebagai pengganti bahan bakar fosil. Sepeda motor listrik ini diharapkan dapat memberikan gambaran performansi peningkatan konsumsi daya listrik terhadap kecepatan dan gaya berat. Konsumsi daya listrik dilakukan melalui pengujian pada sepeda motor listrik dengan variasi kecepatan 20 km/jam, 30 km/jam dan 40 km/jam serta variasi gaya berat. Jarak tempuh pada pengujian ini yaitu 1,8 km dengan diasumsikan melalui medan jalan datar. Pengujian ini mendapatkan hasil dimana variasi kecepatan dan gaya berat secara signifikan mempengaruhi peningkatan konsumsi daya listrik pada sepeda motor listrik.

Kata Kunci : Sepeda Motor Listrik, Konsumsi Daya Listrik

Abstract

Simple magnito electric motorcycle is an alternative means of transportation that uses electricity as a substitute for fossil fuels. This electric motorcycle is expected to provide an overview of the performance of increasing electric power consumption against speed and gravity. Electric power consumption is carried out through testing on electric motorbikes with variations in speed of 20 km/h, 30 km/h and 40 km/h as well as variations in gravity. The distance covered in this test is 1.8 km assuming a flat road. From these tests, the results obtained were that variations in speed and gravity had a significant effect on increasing the consumption of electric power on electric motorcycles.

Keywords: Electric Motorcycles, Electric Power Consumption

1. Pendahuluan

Bahan bakar mineral atau yang sering disebut sebagai bahan bakar fosil dalam penerapannya menjadi salah satu penyebab emisi karbon dioksida yang berpotensi sebagai pemicu dari pencemaran lingkungan, hal ini terjadi karena meningkatnya jumlah kendaraan konvensional yang masih menggunakan bahan bakar fosil [1][2]. Data Badan Pusat Statistik menyatakan angka kendaraan di Indonesia tiap tahunnya terus meningkat sekitar 5 persen [3].

Berkembangnya dunia otomotif saat ini terus berinovasi dengan sumber energi alternatif yaitu mengganti motor bakar dengan motor listrik. Motor listrik ini termasuk alat transportasi alternatif yang ramah lingkungan serta bebas emisi (*zero emisi*) [3][4].

Pada penerapan kendaraan listrik (*electric vehicle*) kendaraan digerakkan oleh motor listrik dengan baterai yang dapat diisi ulang. Kendaraan listrik memiliki satu atau beberapa motor penggerak serta tenaga yang digunakan dari baterai sebagai sumber daya listrik yang asalnya dari luar maupun dalam [5][6][7].

Pada penelitian ini kendaraan listrik yang digunakan yaitu sepeda motor listrik yang memiliki bentuk serta desain yang dibuat

simple, dalam perancangannya menggunakan data antropometri pengguna sehingga memberikan kenyamanan. Sepeda motor listrik ini diharapkan dapat memberikan gambaran performansi terkait konsumsi daya listrik.

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini, yaitu untuk mengetahui pengaruh perubahan kecepatan sepeda motor listrik terhadap konsumsi daya listrik. Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh perubahan kecepatan sepeda motor listrik terhadap konsumsi daya baterai. Batasan masalah perlu dilakukan antara lain:

1. Sepeda motor listrik *simple* yang digunakan yaitu sepeda motor listrik *simple magnito*.
2. Baterai tipe *lithium-ion 18650*.
3. Motor Listrik DC 48 V dengan daya 800 w.
4. Baterai *lithium-ion 48 V* dan kapasitas baterai 960 wh.
5. Konsumsi daya baterai untuk sepeda motor listrik *simple magnito*.

2. Dasar Teori

2.1. Motor Brushless DC (BLDC)

Motor BLDC merupakan jenis dari motor listrik sinkron (*synchronous*). Medan magnetik

*Korespondensi: Wayan Nata Septiadi
E-mail: wayan.nata@unud.ac.id

yang didapat oleh stator dan rotor berputar dengan frekuensi sama. Cara kerja motor BLDC yaitu dengan gaya tarik antara dua magnet dengan kutub sama [8][9].

2.2. Baterai Lithium-Ion

Baterai *lithium-ion* merupakan baterai yang dapat diisi ulang (*secondary battery*) dengan densitas energi, efisiensi yang besar serta ramah lingkungan dibandingkan jenis baterai yang lainnya [10].

2.3. Kontroler

Kontroler dalam fungsinya mengendalikan motor listrik agar mencapai kondisi yang diinginkan [11]. Peran kontroler sebagai pengendali kecepatan putaran dengan mengatur inverter serta *driver*.

2.4. Daya Listrik

Daya listrik merupakan laju energi listrik yang terjadi karena rangkaian listrik. Perubahan dalam arus serta tegangan pada daya bisa mempengaruhi besarnya pengeluaran daya listrik. Daya yang dihasilkan tidak bisa semua dimanfaatkan (daya aktif), juga terdapat daya reaktif yang tidak bisa memanfaatkan dayanya langsung. Faktor daya disebut besaran yang ditunjukkan seberapa efisien yang dimiliki daya yang dapat dimanfaatkan. Daya aktif merupakan besarnya daya rata-rata dengan tenaga yang di konsumsi oleh beban, daya semu merupakan besarnya daya yang dikeluarkan oleh sumber listrik atau diserap oleh beban, sedangkan daya reaktif merupakan besarnya daya yang di butuhkan sebagai pembentukan medan magnet [12]. Besarnya daya listrik (P) dapat dihitung berdasarkan rumus:

$$\text{Daya (P)} = V \cdot I \quad (1)$$

P = daya listrik (Watt)

V = tegangan listrik (V)

I = arus listrik (A)

3. Metode penelitian

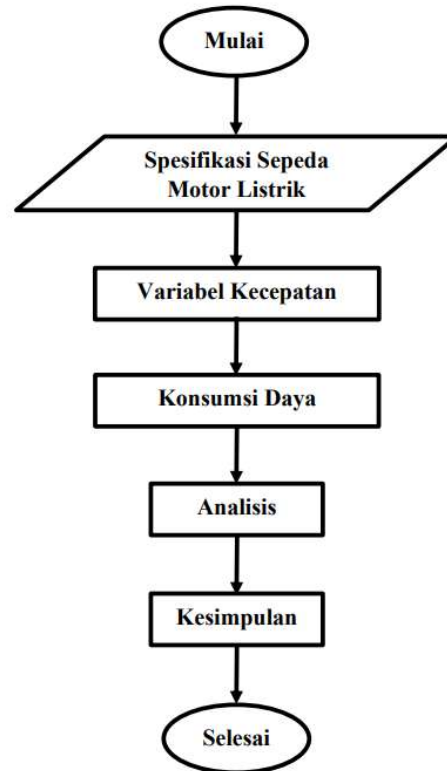
Adapun alat dan bahan yang diperlukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.1. Alat

1. Sepeda motor listrik *simple magnito*
2. Tang *ampere*
3. Multitester
4. Timbangan Badan
5. *Speedometer*

3.2. Diagram alir penelitian

Penelitian ini akan mengikuti metodologi yang akan dijelaskan pada gambar 1 diagram alir dibawah ini:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Spesifikasi Berat Sepeda Motor Listrik *Simple Magnito*

Pada sepeda motor listrik *simple magnito* ini memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 1. Spesifikasi Berat Sepeda Motor Listrik

No.	Spesifikasi Sepeda Motor Listrik	Berat
1	Berat sepeda motor listrik	52,2 kg
2	Gaya berat sepeda motor listrik	511,56 N

4.2. Pengukuran Berat Tubuh

Pengukuran berat tubuh serta gaya berat responden dapat dilihat seperti tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2. Berat Badan Responden

No.	Nama	Berat Badan (kg)	Gaya Berat (N)
1	X1	44.5	436.1
2	X2	52.4	513.52
3	X3	53.25	521.85
4	X4	69.3	679.14
5	X5	69.3	679.14
6	X6	70.75	693.35
7	X7	75	735
8	X8	78	764.4
9	X9	83	813.4
10	X10	85	833
Rata-Rata		68.05	666.89
SD		13.69	134.18

Berdasarkan tabel 2 diperoleh rata-rata berat badan responden $68,05 \pm 13,69$ kg, dan gaya berat rata-rata responden $666,89 \pm 134,18$ N.

3.3. Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan secara *real* serta dinamis untuk mendapatkan hasil yang optimal. Penelitian ini dilaksanakan dengan rute yang telah ditentukan. Penelitian ini mempunyai beberapa tahapan yaitu:

1. Mengukur berat badan pengguna dan berat sepeda motor listrik.
2. Mengukur tegangan dan arus saat sebelum mengendarai sepeda motor listrik *simple magnito*.
3. Mengendarai sepeda motor listrik *simple magnito*.
4. Menguji kecepatan dengan variasi yang telah di tentukan yaitu 20 km/jam, 30 km/jam dan 40 km/jam dengan rute yang telah ditentukan.
5. Apabila kecepatan sudah menyentuh 20 km/jam, 30 km/jam dan 40 km/jam lalu lihat arus yang keluar.
6. Mengukur kembali tegangan sesudah mengendarai sepeda motor listrik *simple magnito*.
7. Pada saat sudah selesai pengujian serta dilakukan pengulangan tiga kali.
8. Analisis hasil konsumsi daya sepeda motor listrik.

4.3. Konsumsi Daya terhadap Variasi kecepatan

Variasi kecepatan dalam pengujian ini yaitu 20 km/jam, 30 km/jam, dan 40 km/jam. Pengujian ini dilakukan pengulangan 3 kali yang bertujuan untuk mendapatkan data yang valid dari konsumsi daya yang dibutuhkan sepeda motor listrik *simple magnito* serta data yang digunakan yaitu rata-rata dari pengulangan 3 kali. Hasil pengujian sepeda motor listrik

sesuai dengan variasi kecepatan dapat dilihat ada tabel berikut :

Tabel 3. Pengujian Kecepatan 20 km/jam

Pengujian	Berat Kendaraan (kg)	Gaya Berat (N)	Konsumsi Daya (W)	SD (W)
X1	96.7	947.66	0.093	0.033
X2	104.6	1025.08	0.109	0.017
X3	105.45	1033.41	0.113	0.017
X4	121.5	1190.7	0.153	0.042
X5	121.5	1190.7	0.152	0.025
X6	122.95	1204.91	0.165	0.044
X7	127.2	1246.56	0.175	0.035
X8	130.2	1275.96	0.186	0.010
X9	135.2	1324.96	0.222	0.027
X10	137.2	1344.56	0.240	0.026
Rata-Rata	120.250	1,178.450	0.161	
SD	13.691	134.176	0.048	

Tabel 4. Pengujian Kecepatan 30 km/jam

Pengujian	Berat Kendaraan (kg)	Gaya Berat (N)	Konsumsi Daya (W)	SD (W)
X1	96.7	947.66	0.264	0.045
X2	104.6	1025.08	0.278	0.106
X3	105.45	1033.41	0.287	0.003
X4	121.5	1190.7	0.296	0.038
X5	121.5	1190.7	0.293	0.036
X6	122.95	1204.91	0.319	0.037
X7	127.2	1246.56	0.328	0.042
X8	130.2	1275.96	0.337	0.040
X9	135.2	1324.96	0.339	0.037
X10	137.2	1344.56	0.347	0.044
Rata-Rata	120.250	1,178.450	0.309	
SD	13.691	134.176	0.029	

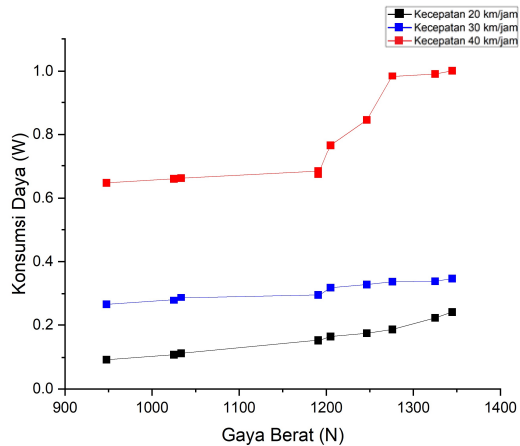
Tabel 5. Pengujian Kecepatan 40 km/jam

Pengujian	Berat Kendaraan (kg)	Gaya Berat (N)	Konsumsi Daya (W)	SD (W)
X1	96.7	947.66	0.647	0.068
X2	104.6	1025.08	0.660	0.073
X3	105.45	1033.41	0.662	0.077
X4	121.5	1190.7	0.683	0.003
X5	121.5	1190.7	0.674	0.130
X6	122.95	1204.91	0.766	0.155
X7	127.2	1246.56	0.845	0.160
X8	130.2	1275.96	0.984	0.099
X9	135.2	1324.96	0.992	0.101
X10	137.2	1344.56	1.002	0.110
Rata-Rata	120.250	1,178.450	0.791	
SD	13.691	134.176	0.151	

Tabel 3 merupakan hasil pengujian pada kecepatan 20 km/jam didapat dengan konsumsi daya sebesar $0,161 \pm 0,048$ Watt. Tabel 4 merupakan hasil pengujian pada kecepatan 30 km/jam didapat dengan konsumsi daya sebesar $0,309 \pm 0,029$ Watt. Tabel 5 merupakan hasil pengujian pada kecepatan 40 km/jam didapat dengan konsumsi daya sebesar $0,791 \pm 0,151$ Watt. Gaya berat (gaya berat sepeda motor listrik *simple magnito* + gaya berat badan pengendara) rata-rata dari 10 responden sebesar $1.178,450 \pm 134,176$ N.

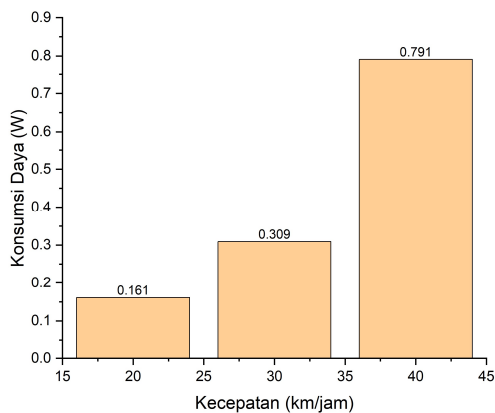
4.4. Grafik Konsumsi Daya Terhadap Variasi Kecepatan

Grafik konsumsi daya terhadap variasi kecepatan dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2. Grafik Pengujian Konsumsi Daya

Gambar 2 merupakan grafik pengujian dari 10 responden menunjukkan bahwa terjadi peningkatan konsumsi daya pada sepeda motor listrik yang diakibatkan adanya peningkatan gaya berat serta variasi kecepatan. Hasil pengujian tersebut maka semakin cepat kecepatan, semakin meningkat gaya berat, maka akan berpengaruh pada konsumsi daya yang dihasilkan.



Gambar 3. Grafik Batang Pengujian Konsumsi Daya

Gambar 3 merupakan grafik batang pengujian kecepatan keseluruhan dari variasi kecepatan dan variasi rute. Grafik batang diatas diperoleh dari pengujian 10 responden dengan gaya berat yang didapat $947,66 \div 1344,56$ N. Data yang digunakan untuk grafik batang ini diperoleh dari rata-rata konsumsi daya. Grafik batang menunjukkan bahwa terjadi peningkatan konsumsi daya pada sepeda motor listrik *simple* magnito yang disebabkan oleh variasi kecepatan serta gaya berat. Hasil pengujian tersebut maka semakin cepat kecepatan dan gaya berat, maka akan berpengaruh pada konsumsi daya yang dihasilkan. Pada grafik batang tersebut dapat diketahui bahwa gaya berat serta kecepatan merupakan berbanding lurus, dikarenakan

semakin tinggi kecepatan pada sepeda motor listrik serta gaya beratnya akan semakin besar pula konsumsi daya dipakai.

6. Daftar Pustaka

- [1] Goel, S, Sharma, R, Rathore, A. K., 2021, *A review on barrier and challenges of electric vehicle in India and vehicle to grid optimization*, Transportation Engineering.
- [2] Bencs, P, Alktrane, M., 2021, *The potential of vehicle cooling systems*, Journal of Physics: Conference Series.
- [3] Badan Pusat Statistik, 2023, *Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis (Unit)*, Diakses pada 10 Juli 2023, dari <https://www.bps.go.id/indicator/17/57/1/p-erkembangan-jumlah-kendaraan-bermotor-menurut-jenis.html>
- [4] Sanguesa, J. A., Torres-sanz, V., Garrido, P., Martinez, F. J., Marquez-barja, J. M., 2021, *Smart cities A Review on Electric Vehicles*, Technologies and Challenges, pp. 372–404.
- [5] Fernanda Abid Said, Hardy Adiluhung, Yoga Pujiraharjo, 2022, *Perancangan Sepeda Motor Listrik Untuk Masyarakat Urban Dipertanyaan (Design Electric Motors For Urban Communities in Engineering)*. E-Proceeding of Art & Design, Vol 9, No. 1, pp 2355-9349.
- [6] Ivan Arango, Carlos Lopez, Alejandro Ceren, 2021, *Improving the Autonomy of a Mid-Drive Motor Electric Bicycle Based on System Efficiency Maps and Its Performance*, World Electric Vehicle Journal.
- [7] Cherry, C., Cervero, R., 2007, *Use characteristics and mode choice behavior of electric bike users in China*, Transport Policy, 14(3), pp 247-257.
- [8] Fairuzza Dinansyar, 2016, *Pengaturan Kecepatan Motor Brushless DC (BLDC) Menggunakan Kontroler Fuzzy Berbasis Linear Quadratic Regulator*, Skripsi, Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [9] Yunus Chandra Wibowo, Slamet Riyadi, 2018, *Analisa Pembebanan pada Motor Brushless DC (BLDC)*, SNIKO 2018.
- [10] Merinda, L., 2017, *Sistem Pendingin Sel Baterai Li-Ion Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics (CFD)*.
- [11] I Pt Agus Surya Adi P, I Nyoman Satya Kumara, I Gusti Agung Pt Raka Agung, 2021, *Status Perkembangan Sepeda Listrik dan Motor Bakar di Indonesia*. SPEKTRUM, Vol 8, No. 4.
- [12] Ahmad Wahid, Ir. Juniadi, MSc, Dr. Ir. H. M. Iqbal Arsyad, MT., 2013, *Analisis*

***Kapasitas dan Kebutuhan Daya Listrik
Untuk Menghemat Penggunaan Energi
Listrik di Fakultas Teknik Universitas
Tanjungpura, Jurnal Teknik Elektro
Universitas Tanjungpura.***



I Gusti Ngurah Agung Ananta Maha Putra adalah seorang mahasiswa di Universitas Udayana sejak tahun 2019, dengan program studi sarjana Teknik Mesin. Sebagai tugas akhir studi S1, fokus penelitian adalah mengenai ergonomi dan daya listrik. Bidang penelitian yang diminati terkait ergonomi, energi listrik dan baterai.

Analisa Kebutuhan Bahan Bakar Gas LPG Untuk Insinerator Limbah Medis *Dual Chamber Oxy-Fuel* Dengan Variasi Laju Volume Air Yang Diinjeksikan

I Made Pasek Purnama, I Nyoman Suprpta Winaya, I Wayan Arya Darma, dan I Putu Angga Yuda Pratama

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit, Jimbaran Bali

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi konsumsi bahan bakar gas LPG pada insinerator dual chamber oxy-fuel dengan variasi laju aliran volume air yang diinjeksikan. Setiap sampel limbah medis seberat 1 kg digunakan dalam pengujian. Proses insinerasi dilakukan pada suhu primary chamber 800°C dan secondary chamber 1000°C, dengan durasi pembakaran 3 menit. Uji coba menggunakan 4 variasi laju aliran volume air: 20 ml/menit, 30 ml/menit, 40 ml/menit, dan 50 ml/menit. Pada setiap variasi, injeksi oxy-fuel dengan laju 8 l/menit digunakan. Penting untuk memperhatikan pengaturan cermat laju aliran volume air, karena penambahan air yang terlalu banyak dapat mengganggu kinerja burner. Dengan mengoptimalkan pengaturan tersebut, industri dapat mencapai efisiensi dan kinerja terbaik dalam pengolahan limbah medis, sekaligus mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

Kata Kunci: Insinerator Dual Chamber, Konsumsi Bahan Bakar Gas, Laju Aliran Volume Air, Limbah Medis, Pengolahan Limbah Medis, Injeksi Oxy-Fuel.

Abstract

This study aims to evaluate the consumption of LPG gas fuel in an oxy-fuel dual chamber incinerator with variations in the injected water flow rate. Each sample of medical waste weighing 1 kg was used in the experiments. The incineration process was carried out at a primary chamber temperature of 800°C and a secondary chamber temperature of 1000°C, with a burning duration of 3 minutes. Four different water flow rates were tested: 20 ml/minute, 30 ml/minute, 40 ml/minute, and 50 ml/minute. In each variation, an oxy-fuel injection rate of 8 l/minute was used. Careful adjustment of the water flow rate is crucial as excessive water addition can disrupt the burner's performance. By optimizing this adjustment, the industry can achieve the best efficiency and performance in medical waste treatment while reducing the environmental impact.

Keywords: Dual Chamber Incinerator, Gas Fuel Consumption, Volume Flow Rate, Medical Waste, Medical Waste Treatment, Oxy-Fuel Injection.

1. Pendahuluan

Limbah medis dikategorikan sebagai limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) yang memiliki karakteristik infeksius dan saat ini masih perlu pengoptimalan proses pengelolaan atau pemusnahan limbah medis. Menurut PerMenLHK No 6 tahun 2021 tentang Tata Cara dan Persyaratan Pengelolaan Limbah B3, pengolahan limbah medis dapat dilakukan dengan cara thermal. Insinerasi menggunakan insinerator merupakan salah satu metode untuk mengelola sampah padat dengan proses thermal dimana limbah diperlakukan pada batas minimum temperatur 800°C [1].

Insinerator adalah teknologi pengelolaan sampah dengan cara membakar zat organik dalam material sampah [2]. Untuk mengurangi dampak negatif pembakaran limbah, teknologi

insinerator dengan sistem ruang bakar ganda (dual chamber) menjadi solusi yang efisien. Melalui pendekatan ini, pembakaran dapat dioptimalkan, menghasilkan emisi yang lebih rendah dan mencapai penghancuran limbah yang lebih efektif [3]. Namun demikian, perlu dicatat bahwa penggunaan insinerator dengan tingkat suhu tinggi ini membutuhkan jumlah bahan bakar yang lebih besar untuk operasional burner jika dibandingkan dengan jenis insinerator lainnya [4]. Kekurangan alat ini termasuk hasil yang berbahaya, seperti residu APC yang membutuhkan pembuangan aman, produksi gas buang dalam jumlah besar, dan biaya pengoperasian dan pemeliharaan yang tinggi [5].

Permasalahan yang saat ini menjadi fokus adalah bagaimana mencapai tingkat pemusnahan limbah yang lebih efektif dengan mengurangi

konsumsi bahan bakar serta mampu menekan biaya proses insinerasi. Penggunaan teknologi oxy-fuel pada insinerator merupakan langkah efektif untuk mencapai profil temperatur yang terkontrol secara efisien di ruang bakar, yang berdampak pada pengurangan konsumsi bahan bakar pada burner [6]. Beberapa penelitian terkait penggunaan oxy-fuel combustion pada proses pembakaran mampu meningkatkan efisiensi termal. Dengan menggunakan oksigen murni sebagai agen oksidasi daripada udara, pembakaran oxy-fuel menghasilkan gas buang dengan konsentrasi CO₂ yang tinggi. Hal ini memungkinkan proses pembakaran tersebut untuk lebih efisien, sehingga meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem. Hasil tersebut menjelaskan bahwa teknologi *oxy-fuel* ini efektif dalam penekanan emisi gas buang pembakaran dan dapat mengurangi konsumsi bahan bakar gas [7].

Penginjeksian air dalam proses insinerasi memiliki manfaat yang signifikan. Dengan menggunakan teknik ini, kita dapat mengurangi emisi polutan berbahaya seperti karbon monoksida dan hidrokarbon dalam gas buang. Selain itu, penginjeksian air juga meningkatkan efisiensi termal, mengurangi residu dan limbah padat, serta meningkatkan oksidasi bahan bakar. Dampak negatif terhadap lingkungan juga dapat dikurangi melalui pengurangan emisi nitrogen oksida. Secara keseluruhan, penginjeksian air menjadi strategi yang efektif dalam meningkatkan keberlanjutan dan efisiensi proses insinerasi [8].

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk memahami kebutuhan bahan bakar yang optimal dari proses pembakaran limbah medis menggunakan insinerator limbah medis dual chamber oxy-fuel yang dibantu dengan penginjeksian air. Fokus permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimana variasi laju aliran volume air mempengaruhi kebutuhan bahan bakar pada insinerator limbah medis dual chamber. Untuk mencapai hasil yang diharapkan dalam penelitian ini, akan diterapkan pembatasan masalah yang relevan, perlu dilakukan pembatasan masalah antara lain:

1. Proses insinerasi limbah medis menggunakan alat insinerator limbah medis *dual chamber* dengan kapasitas bahan bakar padat sebesar 38,8 kg

2. Pengambilan data pengujian diasumsikan pada kondisi lingkungan *steady state*.
3. Kecepatan udara dari *blower* diasumsikan konstan.
4. Toleransi deviasi atau *error* dari nilai kecepatan udara blower pembakaran yang diizinkan berada pada rentang 0,01 – 0,2 m/s
5. Oksigen dan air yang diinjeksikan ke ruang bakar kedua disuplai pada satu titik.

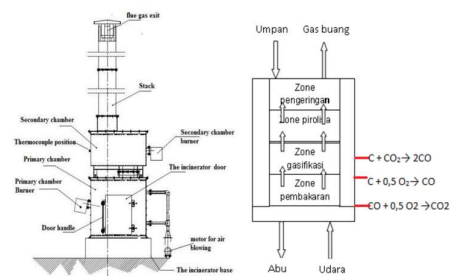
2. Dasar Teori

2.1. Limbah Medis

Limbah medis adalah jenis limbah yang berasal dari berbagai layanan medis, termasuk perawatan, farmasi, laboratorium, dan radiografi. Limbah medis memiliki sifat yang berbahaya dan memerlukan pengawasan khusus. Limbah medis yang dihasilkan di puskesmas meliputi jarum suntik, pipet, sarung tangan, kapas injeksi, kasa, benang, infus, selang infus, masker, dan gigi cabutan. Limbah ini dihasilkan dari berbagai poli di puskesmas, seperti poli umum, poli gigi, poli KB, Unit Gawat Darurat (UGD), Kamar Bersalin, Ruang Perawatan (pria, wanita, dan khusus), KIA, dan Laboratorium [9].

2.2. Insinerasi

Insinerasi adalah metode pengolahan limbah padat dengan menggunakan proses pembakaran pada suhu lebih dari 800°C. Tujuan dari proses ini adalah untuk mengurangi volume sampah yang mudah terbakar (*combustible*) yang tidak dapat didaur ulang. Selain itu, proses insinerasi juga dapat menghilangkan bahan berbahaya seperti baterai, virus, dan bahan kimia beracun. Ketika digunakan untuk mengolah limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun), insinerasi juga bertujuan untuk mengurangi sifat berbahaya seperti keberadaan racun dan radiasi [10].



Gambar 1. Skematik pembakaran pada insinerator.

2.3. Oxyfuel Combustion

Pembakaran oxy-fuel merupakan metode yang dianggap memiliki potensi untuk menangkap karbon dioksida (CO₂). Dalam metode ini, gas oksigen murni digunakan sebagai oksidan daripada udara. Dengan menggunakan pembakaran oxy-fuel, tingkat suhu yang mirip dengan pembakaran konvensional dapat dicapai. Setelah proses pembakaran, gas buang yang mengandung konsentrasi tinggi CO₂ dapat didaur ulang. Gas buang tersebut melewati sistem pembersihan gas buang untuk memurnikannya, kemudian masuk ke unit kompresi dan pemurnian untuk mendapatkan CO₂ dalam bentuk cair dengan tingkat kemurnian yang tinggi [11].

2.4. Water Injection

Injeksi air adalah sistem yang secara langsung menyuntikkan air ke dalam proses pembakaran dan transfer panas. Sistem ini menggunakan komponen yang mirip dengan sistem injeksi bahan bakar, tetapi dengan biaya yang lebih rendah dan pengoperasian yang lebih sederhana. Dengan mengatomisasi air menjadi partikel-partikel kecil melalui ledakan mikro selama proses kompresi injeksi bahan bakar, injeksi air meningkatkan pembakaran yang lebih baik dan lebih sempurna. Sistem ini meningkatkan efisiensi pembakaran dan membantu mencapai transfer panas yang optimal, sehingga meningkatkan kinerja secara keseluruhan [12][13].

3. Metode penelitian

Dalam Penelitian ini metode yang digunakan merupakan metode pendekatan secara eksperimental guna mengetahui kebutuhan bahan bakar dari insinerator limbah medis *dual chamber dual*.

Pengujian dilakukan sebanyak empat kali dengan variasi laju aliran massa oksigen berturut-turut sebesar $5,5 \times 10^{-4}$ kg/s, $6,0 \times 10^{-4}$ kg/s, $6,5 \times 10^{-4}$ kg/s, dan $7,0 \times 10^{-4}$ kg/s. Pada pengujian temperatur ruang bakar pertama dan kedua dikontrol menjadi 800°C dan 1000°C. Sampel limbah medis yang diujikan seberat 1 kg, durasi pemasukan oksigen pada *chamber 2* selama 3 menit dan kecepatan udara blower input 10 m/s

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

3.1. Alat

1. Insinerator limbah medis *dual chamber fix grate* sebagai alat utama untuk melakukan insinerasi.
2. Anemometer digunakan untuk menghitung kecepatan udara dari blower input dan output.
3. Timbangan digital untuk mengukur berat dari limbah medis, abu, dan tabung LPG.
4. Flowmeter untuk mengukur laju aliran volume input dari oksigen.
5. *Timer* untuk mengukur waktu dari proses insinerasi limbah medis.
6. Laptop sebagai alat untuk menampilkan dan menyimpan sekaligus mengolah data.

3.2. Bahan

Bahan yang digunakan antara lain: limbah medis dengan komposisi yang sama setiap sampel, oksigen, dan gas LPG.

4. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kebutuhan bahan bakar gas LPG tertinggi terjadi pada laju aliran volume air 50 ml/menit, yaitu sebesar 6,43 kg/jam. Pada pengujian ini, dengan massa limbah medis seberat 1,014 kg, dihasilkan massa abu seberat 0,08 kg dalam waktu 5 menit 41 detik. Kebutuhan bahan bakar gas yang tinggi ini disebabkan oleh laju aliran volume air yang sangat tinggi, yang memaksa burner bekerja lebih keras untuk mencapai suhu maksimal yang diinginkan, sehingga membutuhkan lebih banyak bahan bakar gas. Di sisi lain, kebutuhan bahan bakar gas LPG terendah terjadi pada laju aliran volume air 30 ml/menit, yaitu sebesar 6,15 kg/jam. Hal ini disebabkan oleh laju aliran volume air yang tidak terlalu besar, sehingga air tidak terlalu mengganggu kinerja burner dan suhu yang diinginkan dapat dicapai dengan lebih cepat. Namun, konsumsi bahan bakar gas LPG terbesar kedua terjadi pada laju aliran volume air 20 ml/menit. Hal ini disebabkan oleh jumlah air yang diinjeksikan yang terlalu sedikit sehingga meskipun burner tidak terhambat oleh air, suhu di dalam chamber tidak dapat mencapai tingkat yang diinginkan dengan cepat. Dalam pengolahan data pengujian, ditemukan bahwa laju konsumsi bahan bakar gas LPG meningkat seiring dengan peningkatan laju aliran volume air. Laju konsumsi bahan bakar gas LPG paling optimal terjadi pada variasi laju aliran volume air 30 ml/menit, yaitu sebesar 6,15 kg/jam. Laju aliran volume air yang tidak terlalu tinggi memungkinkan waktu tinggal gas hasil dari

proses insinerasi di dalam chamber pertama tidak terlalu singkat, sehingga pencampuran dan reaksi pembakaran dapat berlangsung dengan baik di ruang bakar kedua, suhu menjadi lebih optimal, dan laju konsumsi bahan bakar gas menjadi relatif rendah.

5. Kesimpulan

Dalam penelitian ini, terungkap bahwa laju aliran volume air memiliki dampak pada kebutuhan bahan bakar gas LPG. Ketika laju aliran volume air meningkat, hal ini mengganggu kinerja burner dan mengakibatkan peningkatan konsumsi dan kebutuhan bahan bakar gas LPG. Namun, pada laju aliran volume air sebesar 30 ml/menit, ditemukan kebutuhan bahan bakar gas LPG yang paling optimal sebesar 6,15 kg/jam. Dengan menggunakan laju aliran ini, proses pembakaran limbah medis dapat dilakukan dengan lebih efisien. Penemuan ini menunjukkan bahwa penggunaan injeksi air dapat membantu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar gas LPG yang digunakan dalam insinerator limbah medis.

Daftar Pustaka

- [1] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI, “**Tata Cara dan Persyaratan Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun,**” *Peratur. Menteri Lingkung. Hidup dan Kehutan. Nomor 06 Tahun 2021*, 2021.
- [2] A. J. Rudend and J. Hermana, “**Kajian Pembakaran Sampah Plastik Jenis Polipropilena (PP) Menggunakan Insinerator,**” *J. Tek. ITS*, vol. 9, no. 2, 2021, doi: 10.12962/j23373539.v9i2.55410.
- [3] A. Mngoma Omari, “**Operating Conditions of A Locally Made Fixed-Bed Incinerator, a Case Study of Bagamoyo – Tanzania,**” *Int. J. Environ. Monit. Anal.*, vol. 3, no. 2, p. 80, 2015, doi: 10.11648/j.ijema.20150302.17.
- [4] A. T. Lando, I. Djamaludin, A. N. Arifin, N. Oktorina, R. Danah, and M. F. Sulistyowati, “**The Effectiveness of Incinerator at the Integrated Waste Treatment Plant in the Campus of Engineering Faculty-Hasanuddin University,**” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 875, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/875/1/012017.
- [5] M. Yuliani, “**Incineration for Municipal Solid Waste Treatment,**” *J. Rekayasa Lingkung.*, vol. 9, no. 2, pp. 89–96, 2016, doi: 10.29122/jrl.v9i2.1997.
- [6] P. Wienchol, A. Szlęk, and M. Ditaranto, “**Waste-to-energy technology integrated with carbon capture – Challenges and opportunities,**” *Energy*, vol. 198, 2020, doi: 10.1016/j.energy.2020.117352.
- [7] S. J. Self, M. A. Rosen, and B. V. Reddy, “**Effects of Oxy-Fuel Combustion on Performance of Heat Recovery Steam Generators,**” *Eur. J. Sustain. Dev. Res.*, vol. 2, no. 2, pp. 1–11, 2018, doi: 10.20897/ejosdr/69787.
- [8] I. S. Anufriev, E. P. Kopyev, I. S. Sadkin, and M. A. Mukhina, “**NOx reduction by steam injection method during liquid fuel and waste burning,**” *Process Saf. Environ. Prot.*, vol. 152, pp. 240–248, 2021, doi: 10.1016/j.psep.2021.06.016.
- [9] A. D. Moelyaningrum, “**MEDICAL WASTE ANALYSIS IN PUBLIC HEALTH CENTER Anita Dewi Moelyaningrum Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Jember.**,” pp. 35–39, 2010.
- [10] R. D. Utami, D. G. Okayadnya, and D. M. Mirwan, “**MENINGKATKAN KINERJA INCENERATOR PADA PEMUSNAHAN LIMBAH MEDIS RSUD Dr. SOETOMO SURABAYA,**” *J. Ilm. Tek. Lingkung.*, vol. 7, no. 2, pp. 115–122, 2020.
- [11] Z. Wang, “**Energy and Air Pollution,**” vol. 1–5. 2018. doi: 10.1016/B978-0-12-809597-3.00127-9.
- [12] M. Fratita, F. Popescu, J. Martins, F. P. Brito, and T. Costa, “**Direct water injection and combustion time in SI engines,**” *Energy Reports*, vol. 7, no. May, pp. 798–803, 2021, doi: 10.1016/j.egyr.2021.07.061.
- [13] J. Park and J. Oh, “**Study on the characteristics of performance, combustion, and emissions for a diesel water emulsion fuel on a combustion visualization engine and a commercial diesel engine,**” *Fuel*, vol. 311, no. November 2021, p. 122520, 2022, doi: 10.1016/j.fuel.2021.122520.

	<p>I Made Pasek Purnama adalah mahasiswa studi S1 di Universitas Udayana dari tahun 2019. Saat ini topik penelitian yang diambil sebagai tugas akhir studi S1 tentang performansi dari insinerator limbah medis.</p>
---	---

Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan mesin pembakaran dalam, gasifikasi dan topik yang berkaitan dengan termodinamika.

	<p>I Nyoman Suprpta Winaya adalah seorang profesor di Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik-Universitas Udayana. menerima gelar Sarjana dari Universitas Udayana tahun 1994, gelar Master dari Dalhousie University Kanada dan gelar Ph.D dari Niigata University Jepang.</p>
---	--

Bidang penelitian yang diminati terkait teknologi *fluidized bed, new and renewable energy*, pembakaran, gasifikasi, pirolisis, dan topik-topik yang berkaitan dengan manajemen energi.

ANALISIS DISTRIBUSI BEBAN *VELG* SEPEDA MOTOR LISTRIK DENGAN VARIASI MOTIF *SPOKE* MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Putra Kurnia Illahi, I Made Gatot Karohika, I Made Parwata
Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Sepeda motor merupakan salah satu benda yang sudah menjadi kebutuhan dari setiap orang. Jenis dari sepeda motor juga semakin bervariasi yang salah satunya adalah sepeda motor listrik. Komponen yang penting dari sepeda motor listrik adalah velg. Velg memiliki peranan yang cukup penting sebagai melekatnya ban dan juga menyalurkan daya yang dihasilkan oleh mesin. Velg didesain memiliki kekuatan yang tinggi untuk menahan beban yang diberikan. Dengan semakin berkembangnya teknologi komputer, memungkinkan kita melakukan simulasi atau pengujian terhadap kekuatan dan nilai keamanan dari velg untuk menghindari kegagalan dari velg. penelitian ini bertujuan mengetahui kekuatan dan nilai keamanan velg dengan variasi model spoke melalui simulasi yang dilakukan. Simulasi yang dilakukan menggunakan software Autodesk Inventor 2021. Pembebanan yang diberikan berupa pembebanan statis (gaya) sebesar 800 N dan pembebanan dinamis (momen) sebesar 4000 N.mm. Dari simulasi yang dilakukan didapatkan hasil velg dengan type A memiliki tegangan von mises sebesar 66,29 MPa, displacement sebesar 0,09254, dan safety factor sebesar 4,15. Velg dengan type B memiliki tegangan von mises sebesar 37,02 MPa, displacement sebesar 0,08067, dan safety factor sebesar 7,43. Sedangkan velg dengan type C memiliki tegangan von mises sebesar 38,71 MPa, displacement sebesar 0,07182, dan safety factor sebesar 7,1.

Kata kunci: Velg, Simulasi, Faktor keamanan

Abstract

Motorcycles are something that everyone needs. The types of motorbikes are also increasingly varied, one of which is an electric motorbike. An important component of an electric motorcycle is the wheels. Wheels have an important role as attachment to the tire and also distribute the power generated by the engine. Wheels are designed to have high strength to withstand a given load. With the development of computer technology, it allows us to do simulations or tests of the strength and safety values of wheels to avoid wheel failure. This study aims to determine the strength and safety value of the wheels with variations in the spoke model through the simulations carried out. The simulation was carried out using the Autodesk Inventor 2021 software. The load given was in the form of a static load (force) of 800 N and a dynamic load (moment) of 4000 N.mm. From the simulations carried out, it was found that type A wheels have a von mises stress of 66.29 MPa, a displacement of 0.09254, and a safety factor of 4.15. Wheels with type B have a von mises stress of 37.02 MPa, a displacement of 0.08067, and a safety factor of 7.43. While velg with type C has a von mises stress of 38.71 MPa, a displacement of 0.07182, and a safety factor of 7.1.

Keywords: Wheels, Simulation, Safety factor

1. Pendahuluan

Sepeda motor merupakan salah satu benda yang sudah menjadi kebutuhan dari setiap orang. Jenis dari sepeda motor juga semakin bervariasi yang salah satunya adalah sepeda motor listrik. Sepeda listrik bergerak akibat putaran dari motor listrik yang kemudian disalurkan melalui belt ke roda belakang. Sepeda motor listrik tidak memerlukan akselerasi dan kecepatan yang tinggi seperti sepeda motor konvensional.

Komponen yang penting dari sepeda motor listrik adalah velg. Velg memiliki peranan yang cukup penting sebagai melekatnya ban dan juga menyalurkan daya yang dihasilkan oleh mesin [1]. Velg yang terdapat di pasaran terbuat dari material

campuran aluminium dengan magnesium. Saat beroperasi, velg menerima beban statis dan dinamis yang disebabkan oleh berat dari kendaraan dan juga momen yang diakibatkan oleh motor listrik.

Velg didesain untuk memiliki kekuatan yang tinggi untuk menahan beban yang diberikan. Kegagalan yang terjadi pada velg adalah pecahnya spoke akibat gaya dan tegangan yang melebihi tegangan maksimum yang diizinkan[2]. Dengan semakin berkembangnya teknologi komputer, memungkinkan kita melakukan simulasi atau pengujian terhadap kekuatan dan nilai keamanan dari velg untuk menghindari kegagalan dari velg.

Simulasi yang dilakukan menggunakan metode elemen hingga dengan membagi menjadi bagian –

bagian kecil dengan bantuan komputer. Simulasi ini memiliki banyak keuntungan dari segi waktu, tenaga, maupun biaya. Maka dari itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan dan nilai keamanan velg dengan variasi model spoke melalui simulasi yang dilakukan.

2. Dasar Teori

1. Tegangan Von Misses

Teori kegagalan ini memprediksi bahwa keadaan tegangan multiaksial terjadi ketika energi deformasi per-satuan volume sama dengan atau lebih besar daripada uji tegangan uniaksial sederhana pada benda uji dari bahan yang sama. Tegangan *von misses* juga digunakan untuk memprediksi kekuatan dan daya tahan suatu material. Apabila tegangan *von misses* melebihi kekuatan material, maka material tersebut akan mengalami kegagalan.

2. Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga adalah rekayasa komputasi yang digunakan untuk memprediksi dan mensimulasikan perilaku dari suatu sistem rekayasa yang kompleks. Pada dasarnya metode elemen hingga membagi bagian kompleks menjadi bagian atau unit yang lebih kecil dan dapat dengan mudah menghasilkan solusi yang sederhana. Elemen – elemen tersebut saling berhubungan melalui node yang terletak di sepanjang batas elemen. Setiap node menentukan koordinat lokasi dimana gaya berada.

3. Faktor Keamanan

Faktor keamanan merupakan salah satu faktor yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat keamanan dari suatu material saat menerima gaya dari luar. Faktor keamanan didefinisikan sebagai suatu nilai dari perhitungan tetangan sebenarnya terhadap tegangan yang diijinkan.

Untuk menghindari suatu kegagalan struktur terjadi besar nilai dari faktor keamanan harus lebih dari 1,0. Oleh karena itu nilai dari tegangan sebenarnya harus lebih besar dari tegangan yang diijinkan agar material tersebut bisa disebut aman.

Faktor keamanan dari suatu struktur dapat dinilai dengan menggunakan aturan sebagai berikut :

a. Bahan – bahan ulet

1. $(n) = 1,25 - 2,00$ untuk perancangan struktur yang menerima beban secara statis dengan kepercayaan yang tinggi untuk data perancangan.
2. $(n) = 2,00 - 2,5$ untuk perancangan elemen suatu mesin yang menerima beban dinamis dengan tingkat kepercayaan rata – rata untuk data perancangan.
3. $(n) = 2,5 - 4,00$ untuk perancangan struktur statis ataupun elemen mesin yang menerima beban

dinamis dengan ketidak pastian beban, sifat bahan, analisis tegangan, dan juga lingkungan.

4. $(n) = 4,00$ atau lebih untuk perancangan struktur statis atau elemen mesin yang menerima beban dinamis dengan ketidak pastian campuran bahan, sifat bahan, analisa tegangan, dan juga lingkungan.

b. Bahan – bahan getas

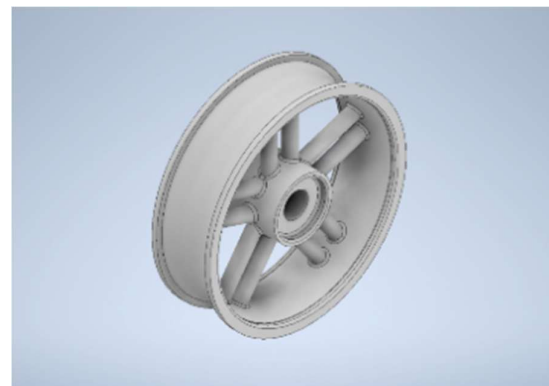
1. $(n) = 3,00 - 4,00$ untuk perancangan struktur yang menerima beban secara statis dengan kepercayaan yang tinggi untuk data perancangan.
2. $(n) = 4,00 - 8,00$ untuk perancangan struktur statis ataupun elemen mesin yang menerima beban dinamis dengan ketidak pastian beban, sifat bahan, analisis tegangan, dan juga lingkungan.

3. Metode Penelitian

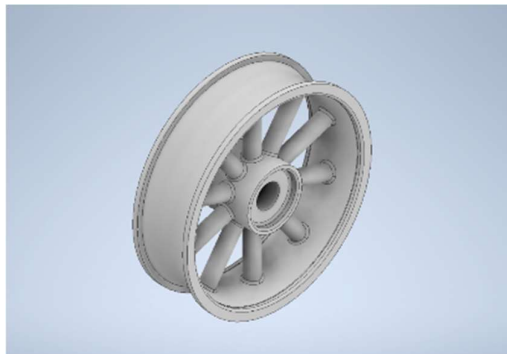
Alat dan bahan yang digunakan pada pengujian ini adalah :

1. *Autodesk Inventor Professional 2021 Student Version.*
2. Material Aluminium 6061 yang ada pada *library Autodesk Inventor Professional 2021 Student Version.*

Adapun desain velg yang digunakan untuk simulasi memiliki diameter sebesar 202,12 mm yang dapat dilihat pada gambar dibawah berikut.



Gambar 1. Desain velg type A

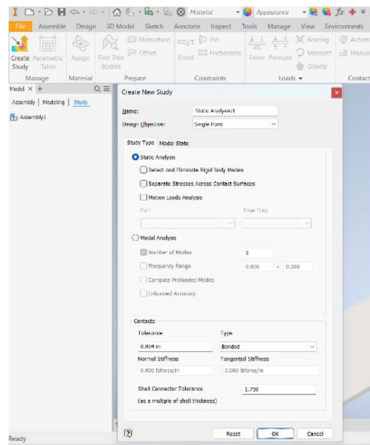


Gambar 2. Desain velg type B



Gambar 3. Desain velg type C

1. Tahapan Simulasi
 Simulasi dilakukan pada menu *static analysis* kemudian klik *create study* dan klik "Ok" seperti gambar dibawah ini.



Gambar 4. Menu *static analysis*

Kemudian mengatur material yang digunakan untuk simulasi yaitu aluminium 6061. Simulasi dilakukan dengan memberikan beban dengan jenis *force* dan *momen load*.

Force yang bekerja diasumsikan berdasarkan berat dari sepeda motor listrik dan pengendara melalui perhitungan sebagai berikut :

$$M = 50 \text{ kg (berat sepeda motor listrik)} + 110 \text{ kg (berat maksimal pengendara)} = 160 \text{ kg}$$

$$F = m \times g (9,81 \text{ m/s}^2) = 160 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 1569,6 \text{ N} = \text{dibulatkan menjadi } 1600 \text{ N}$$

Beban tersebut merupakan beban maksimum untuk 2 buah velg. Maka untuk beban setiap velg adalah

$$F \text{ setiap velg} = 1600 \text{ N} / 2 = 800 \text{ N}$$

Oleh karena itu pembebanan *force* yang digunakan pada simulasi ini adalah 800 N.

Momen load didapatkan dari kecepatan maksimum dari sepeda motor listrik. Kecepatan maksimum yang dapat dilakukan mulai dari 50 km/jam dengan daya motor 500 watt [3].

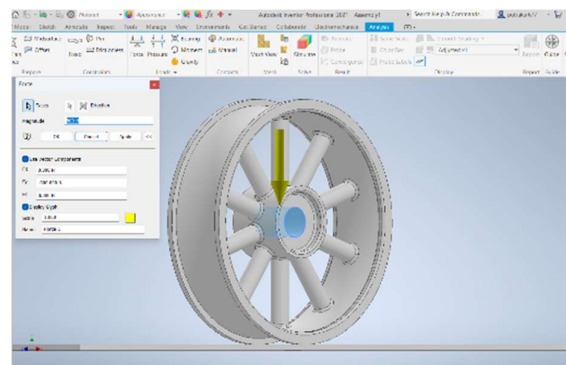
$$V = 50 \text{ km/jam} = 13,8 \text{ m/s}$$

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{13,8}{0,10106} = 136,55 \pi \text{ rad/s}$$

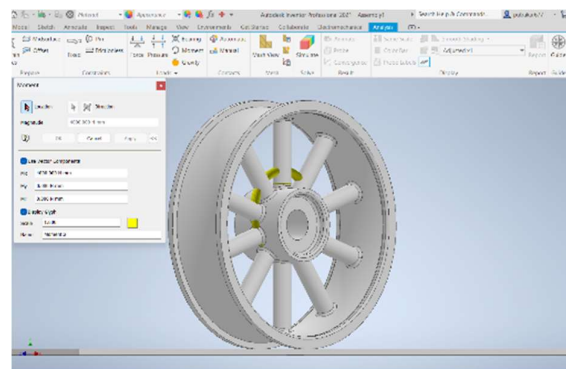
$$\text{Momen } T = \frac{P}{\omega} = \frac{500}{136,55} = 3,66 \text{ N.m}$$

Dibulatkan menjadi 4 N.m = 4000 N.mm.

Kemudian untuk letak dari *force* dan momen load dapat dilihat seperti gambar dibawah ini.

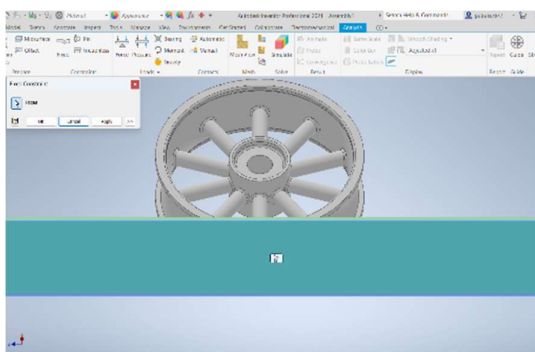


Gambar 5. Beban *force*



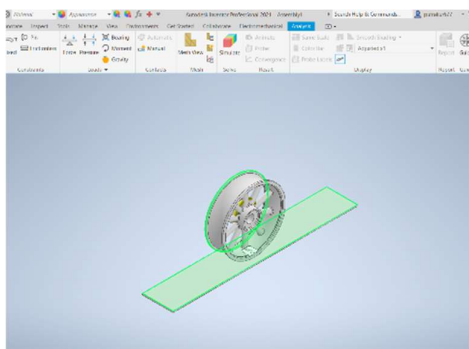
Gambar 6. Momen load

Kemudian diberikan constraints dengan jenis *fixed support* yang diletakkan pada plat untuk jalur dari velg yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini.

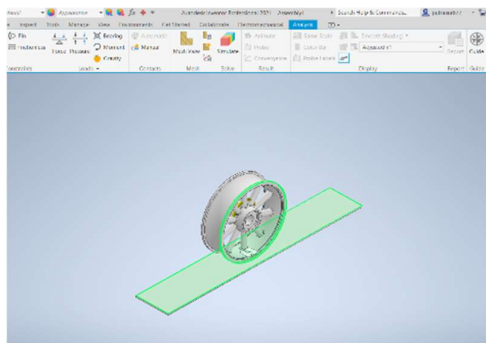


Gambar 7. Fixed support

Kemudian mengatur kontak yang terjadi antar velg dengan jalur pada menu *contact* dan kemudian klik *automatic contact* dan akan terlihat seperti gambar dibawah ini.



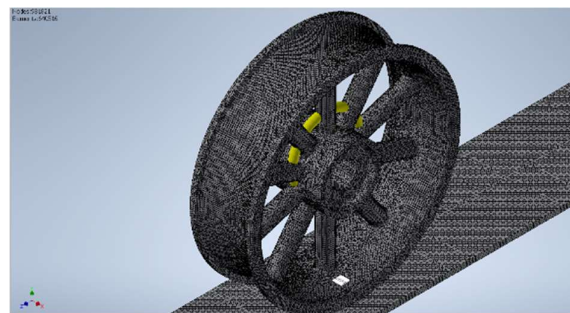
(a)



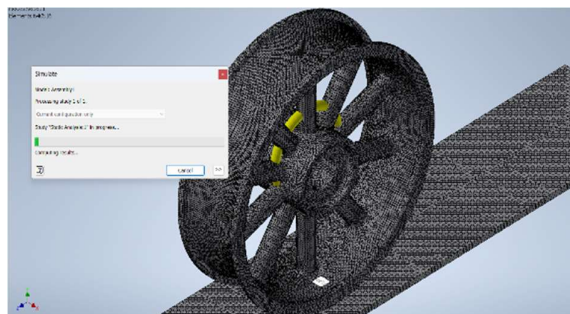
(b)

Gambar 8. (a) Contact 1, (b) Contact 2

Kemudian melakukan meshing dengan ukuran average element size 0,01 dan minimum element size 0,02. Meshing digunakan untuk mendapatkan hasil perhitungan yang akurat. Selanjutnya dilakukan simulasi. Klik menu *simulate* kemudian *run* untuk mendapatkan hasil dari simulasi yang dilakukan.



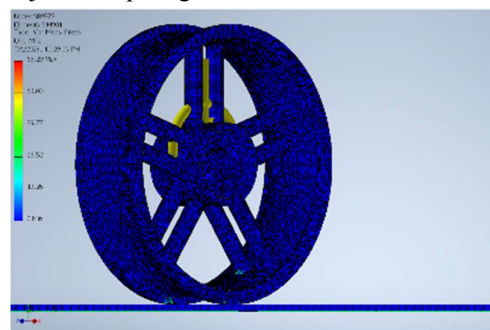
Gambar 9. Mesh view



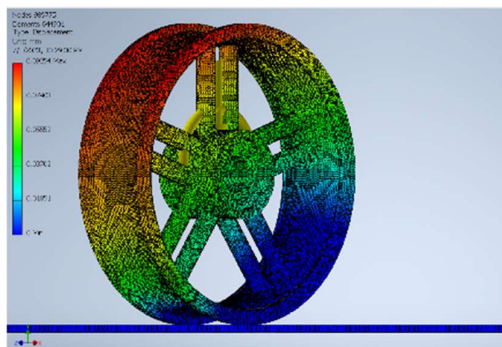
Gambar 10. Simulasi pengujian

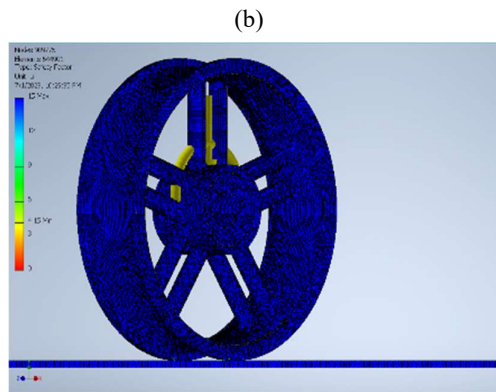
4. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan dengan tahapan simulasi yang dilakukan seperti pada bab 3, maka akan didapatkan hasil dari simulasi. Hasil yang didapatkan dari simulasi yaitu tegangan *von mises*, *displacement*, dan *safety factor* dari setiap variasi model spoke yang ditunjukkan seperti gambar berikut.

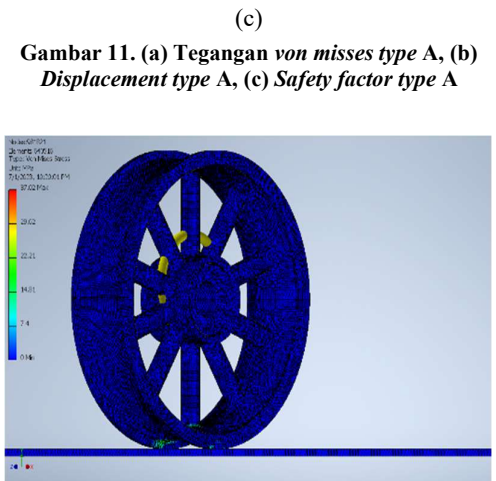


(a)



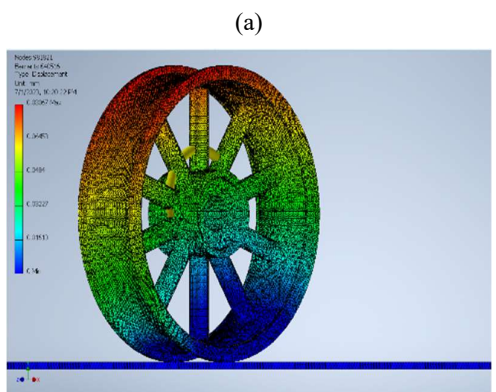


(b)

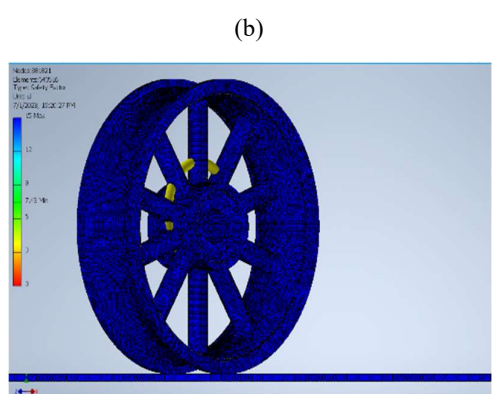


(c)

Gambar 11. (a) Tegangan von mises type A, (b) Displacement type A, (c) Safety factor type A



(a)

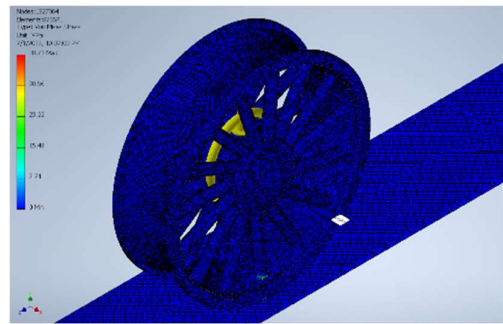


(b)

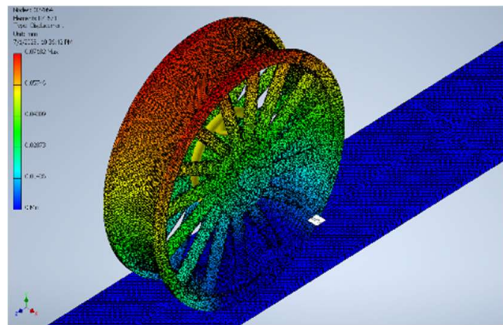


(c)

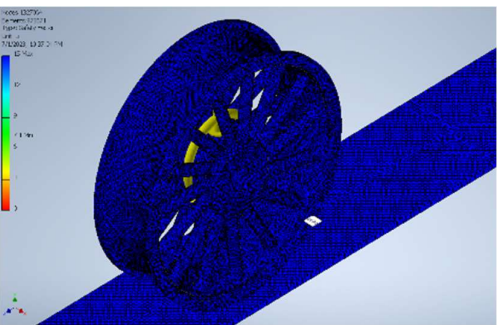
Gambar 12. (a) Tegangan von mises type B, (b) Displacement type B, (c) Safety factor type B



(a)



(b)



(c)

Gambar 13. (a) Tegangan von mises type C, (b) Displacement type C, (c) Safety factor type C

Jenis Velg	Tegangan Von Misses	Displacement	Safety Factor
Type A	66,29 Mpa	0,09254 mm	4,15
Type B	37,02 MPa	0,08067 mm	7,43
Type C	38,71 Mpa	0,07182 mm	7,1

Tabel 1. Hasil Simulasi


Berdasarkan tabel diatas velg dengan type A memiliki tegangan von mises sebesar 66,29 MPa, displacement sebesar 0,09254, dan safety factor sebesar 4,15. Velg dengan type B memiliki tegangan von mises sebesar 37,02 MPa, displacement sebesar 0,08067, dan safety factor sebesar 7,43. Sedangkan velg dengan type C memiliki tegangan von mises sebesar 38,71 MPa, displacement sebesar 0,07182, dan safety factor sebesar 7,1.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan *velg* dengan *type B* memiliki kekuatan yang terbaik dilihat dari nilai tegangan *von mises* dan *safety factor* yang di dapatkan. Tegangan *von mises* dari *velg type B* sebesar 37,02 MPa yang nilainya paling kecil diantara variasi *type spoke* dan *safety factor* sebesar 7,43 yang nilainya paling besar diantara variasi *type spoke velg*.

Daftar Pustaka

- [1] Bahri, Moh. (2015). Analisa Kekuatan *Velg* Mobil Penumpang pada Simulasi Pengujian *Dynamic Radial Fatigue* dengan Metode Elemen Hingga, Jurnal Teknik ITS Vol. 4, No. 1, 1-5,.
- [2] Irawan, A. H. (2016). Analisis Kekuatan *Velg Cast Wheel* Sepeda Motor dengan Perangkat Lunak Berbasis Metode Elemen Hingga, Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, vol. 4, no. 2, 57-66.
- [3] Syaefudin, E. A. (2013). Perancangan Desain *Velg* Sepeda Motor *Hybrid* dan Pengujian Distribusi Beban dengan *Software Autodesk Inventor*, Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur UNJ, Edisi terbit I, 22-31.
- [4] Wijianto, A. S. (2022). Simulasi Numerik *Velg After Market* Untuk Mendapatkan Nilai Tegangan dan Deformasi Maksimum, R.E.M. (Rekayasa Energi Manufaktur) Jurnal, vol. 07, no. 2, 63-68.
- [5] Pris, F. R. Analisis Kekuatan *Velg Aluminium Alloy 17 inc* dari Berbagai Desain Menggunakan Metode *Finite Element Analysis (FEA)*, Jurnal Ilmiah TEKNOBIZ, vol. 09, no. 2, 33-39.

	<p>Putra Kurnia Illahi menyelesaikan program studi teknik mesin pada tahun 2023</p>
<p>Foto close-up Judul Tugas akhir Analisis Distribusi Bebab <i>Velg</i> Sepeda Motor Listrik dengan Varriasi Motif <i>Spoke</i> Menggunakan Metode Elemen Hingga</p>	