

ISSN 2302 – 5182



TEKNIK DESAIN MEKANIKA

Jurnal Ilmiah Teknik Mesin

Volume 9 • Nomor 3 • JULI • 2020 • Hal. 915-1024

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 9

Nomor 3

Hal. 915-1024

Badung, Juli 2020

ISSN 2302-5182

TEKNIK DESAIN MEKANIKA
Jurnal Ilmiah Teknik Mesin



Volume 9, Nomor 3, Juli 2020, Hal. 915 – 1024

Penanggung Jawab

Koordinator Program Studi Teknik Mesin UNUD

Ketua Dewan Redaksi

Ir. I Nengah Suarnadwipa, M.T.

Redaksi Pelaksana/Tim Validasi

I Gede Teddy Prananda Surya, S.T., M.T.

I Made Astika, ST., M.Erg, MT

Ir. A. A Adhi Suryawan, MT

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

Dr. Ir. I Gusti Ngurah Nitya Santhiarsa, MT

Dr. Ir. I Ketut Suarsana, MT

Ir. I Made Suarda, M. Eng.

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 9 Nomor 3, Juli 2020 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 9 Nomor 3 ini, disajikan 20 artikel, dalam berbagai topik meliputi gasifikasi/biogas, transmisi, studi numerik uji tarik, material, pompa, pembakaran, kolektor surya, pompa kalor dan komposit.

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 9 • Nomor 3 • Juli 2020 • Hal. 915 – 1024

Daftar Isi

Visualisasi Fenomena Fisik Aerodinamika Suatu Kendaraan Model I Wayan Adi Usada, Anak Agung Adhi Suryawan dan I Gusti Ketut Sukadana	915 - 918
Uji Eksperimen Prototipe Kuarsa Piezoelektrik Dengan Variasi Ketebalan Penampang Terhadap Keluaran Arus Dan Tegangan Made Prasta Yudist, I Gusti Ngurah Nitya Santhiarsa dan Ni Made Dwidiani	919 - 922
Karakteristik Mekanik Komposit Poliester Diperkuat Serat <i>Cordyline australis</i> (Daun Praksok) dengan Variasi Fraksi Berat I Komang Putra Atmaja, I Wayan Surata, Tjokorda Gde Tirta Nindhia	923 - 928
Kekuatan Tarik Dan Lentur Komposit Poliester Berpenguat Serat <i>Cordyline Australis</i> (Daun Praksok) Dengan Perlakuan Air Laut Ida Bagus Kresnasandi, I Wayan Surata, Tjokorda Gde Tirta Nindhia	929 - 934
Pengaruh Rasio Air Dalam Proses Pembuatan Biogas Dengan Menggunakan Limbah Sorgum Moh Fitrah Giffari, I Gusti Bagus Wijaya Kusuma dan Hendra Wijaksana	935- 938
Pengaruh Arus Terhadap Sifat Mekanis Dan Karakteristik Pada Hasil Pengelasan <i>Spot Welding</i> Material Logam Berbeda (<i>Dissimilar Metal</i>) Dewi Maya Puspitasari, I Nyoman Gde Antara, dan I Nyoman Budiarsa	939 - 946
Performansi Sistem Pendingin Dengan Penggunaan <i>In – Line Solid Dry Pad</i> Sebagai Pendingin Awal Udara Pada Kondensor I Putu Agus Dhammika, Hendra Wijaksana, Wayan Nata Septiadi	947 - 951
Studi Experimental Performansi Pendinginan Pada Solid Dry Pad Susunan In-Line Terhadap Variasi Kelembaban Udara I Made Sukasna, Hendra Wijaksana dan Ketut Astawa	952 - 959
Uji Emisi Gas Buang Mesin Genset 2 Langkah Berbahan Bakar Fleksible (Biogas Dan Bensin). I Wayan Agus Rantia Dana, Tjokorda Gde Tirta Nindhia, dan I Wayan Surata	960 - 964
Pengaruh Fraksi Volume Serbuk Kayu <i>Green Composite</i> Serbuk Kayu/Getah Pinus Terhadap Karakteristik Fisik Dan Mekanik I P Yudistira Pramana Putra, N P G Suardana dan C I P Kusuma Kencanawati	965 - 970
Pengaruh Penambahan Lem PVAc 20% Pada <i>Biocomposite</i> Serbuk Kayu/Lem PVAc/Getah Pinus Terhadap Karakteristik Fisik Dan Mekanik I Kadek Hendra Dinata, N.P.G. Suardana dan C.I.P. Kusuma Kencanawati	971 - 976
Pengaruh Variasi Perendaman Terhadap Kekuatan Tarik Serat Tunggal Daun Praksok (<i>Cordyline Australis</i>)	977 - 980

I Komang Ari Dimas, Tjokorda Gde Tirta Nindhia, I Wayan Surata	
Pengaruh <i>Treatment</i> Naoh Pada Serbuk Kayu Terhadap Karakteristik Fisik Dan Mekanik <i>Biocomposite</i> Serbuk Kayu/Getah Pinus/Lem Putih Komang Ary Prasetya, N.P.G Suardana dan C.I.P.Kusuma Kencanawati	981 - 986
Simulasi Drag Reduction Pada Tractor Trailer Dengan Penambahan Boot Tail Tondi Nihita Lulu Somana Valentino Naibaho, Ainul Ghurri, dan Anak Agung Adhi Suryawan.	987 - 992
Karakterisasi Karbon Aktif Tempurung Kelapa dengan Variasi Konsentrasi Aktivator Terhadap Adsorpsi Timbal Argenes Saragih, Ni Made Dwidiani, IGN Nitya Santhiarsa	993 - 997
Simulasi Pengaruh Penambahan Headroof Spoiler Pada Truk Dengan Aplikasi Cfd Nizam Firman Nur Habibie, Ainul Ghurri, Anak Agung Adhi Suryawan	998 - 1002
Pengaruh Variasi Komposisi Pada Ceramic Matrix Composite Berpenguat AL_2O_3/Mg Terhadap Porositas, Kekerasan Dan Konduktivitas Termal I Dewa Made Budi Dharma, I Ketut Suarsana dan I Gusti Ngurah Priambadi	1003- 1006
Pengaruh Variasi Waktu Dan Massa Hidrogen Donor Pada Proses <i>Partial Hydrogenation</i> Biodiesel Minyak Jelantah Terhadap Nilai Stabilitas Oksidasi I.A.Wisnu, I.K.G. Wirawan, A. Ghurri	1007-1013
Pengaruh Variasi Temperatur dan Putaran Pada Proses <i>Partial Hydrogenation</i> Biodiesel Minyak Jelantah Terhadap Stabilitas Oksidasi M. R. Ridho, I K. G. Wirawan, dan A. Ghurri	1014-1019
Efek Perlakuan <i>Silane</i> Pada Komposit Berpenguat Serat Jelatang Terhadap Kekuatan <i>Impact</i> Linggih Sulenggar Putra, I Gede Putu Agus Suryawan, I Ketut Suarsana	1020-1024

Visualisasi Fenomena Fisik Aerodinamika Suatu Kendaraan Model

I Wayan Adi Usada, Anak Agung Adhi Suryawan dan I Gusti Ketut Sukadana
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Semakin meningkatnya perkembangan industri otomotif, ditandai dengan banyaknya produk kendaraan dengan teknologi terkini yang beredar di pasaran. Perkembangan ini mengarah pada penyempurnaan bentuk mobil yang lebih aerodinamis sebagai upaya memperkecil gaya hambat (*dragforce*) dan mengurangi konsumsi bahan bakar. Penelitian dilakukan untuk menganalisa pola aliran udara pada masing-masing bentuk mobil dan menguji gaya hambatnya. Simulasi dilakukan menggunakan software ANSYS FLUENT terhadap 3 model yaitu mobil box, mobil sedan, dan mobil sport. Hasil simulasi masing-masing model akan dianalisa lalu dibandingkan dengan model yang lainnya. Hasil simulasi adalah mobil box memiliki gaya hambat paling besar dan mobil sport memiliki gaya hambat yang paling kecil serta pola aliran yang paling aerodinamis.

Kata kunci: Model mobil, Ansys, aerodinamis, dan gaya drag

Abstract

Along with the increasing development of the automotive industry, marked by the increasing number of vehicle products with the latest technology on the market. This development has led to improvements in the form of a more aerodynamic car in an effort to reduce drag force and reduce fuel consumption. The study was conducted to analyse the air flow patterns in each car shape and test the drag. The simulation is done using ANSYS FLUENT software on 3 models, namely box car, sedan car, and sport car. The simulation results of each model will be analysed and then will be compared with other models. The conclusion obtained from this simulation is that the box car has the biggest drag and the sports car has the smallest drag and the most aerodynamic flow pattern.

Keywords: Cars model, Ansys, aerodynamics, and drag force.

1. Pendahuluan

Kebutuhan manusia terhadap sarana transportasi semakin meningkat seiring dengan kemajuan jaman, khususnya kendaraan beroda empat sudah merupakan kebutuhan vital bagi setiap kehidupan manusia. Karena membantu meringankan pekerjaan manusia, mempengaruhi penyelesaian suatu pekerjaan baik kualitas, kuantitas dan kenyamanan [1]. Kendaraan roda empat tipe sedan, mobil box dan sport adalah kendaraan yang banyak dijumpai di Indonesia. Kendaraan-kendaraan tersebut sangat fleksibel penggunaannya sehingga diminati oleh kebanyakan masyarakat Indonesia. Tetapi setiap model kendaraan tentu memiliki tingkat performansi yang berbeda.

Penelitian ini menganalisa perilaku aerodinamika mobil menyerupai mobil sedan, sport dan box. Disamping itu juga dilakukan perhitungan besarnya *coefficient drag* (CD). Pola aliran udara disekitar bodi akan disimulasi menggunakan *computational fluid dynamics* (CFD).

Batasan masalah yang diterapkan dalam penelitian ini adalah:

1. Menggunakan 3 model uji kendaraan, yaitu: sedan, mobil box dan sport.
2. Visualisasi *streamline* udara yang melintasi relatif terhadap bodi kendaraan, aliran udara diasumsikan paralel.

3. Pengujian menggunakan software ANSYS 19.2.
4. Pembuatan model kendaraan menggunakan software *Inventor Professional 2017* yang hanya disertai dengan sepijon dan roda.

2. Dasar Teori

Saat benda pada posisi suatu fluida yang bergerak (atau sebaliknya benda nya yang bergerak dalam suatu fluida yang diam) akan mengalami gaya yang disebut dengan gaya-gaya aerodinamika. Hambatan aerodinamik merupakan gaya seret yang bekerja paralel terhadap arah aliran. Gaya hambat atau yang disebut *drag* ini merupakan gaya yang menahan gerak benda. Secara umum gaya hambat ini terjadi akibat perbedaan tekanan antara bagian depan dan belakang benda [2].

Besarnya gaya hambat aerodinamik dapat diformulasikan:

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

Keterangan:

C_D = koefisien gaya hambat (drag)

F_D = gaya hambat/ drag (N)

ρ = densitas fluida (kg/m³)

A = luasan acuan (m²)

v = kecepatan fluida relatif terhadap obyek (m/s) [2].

3. Metode Penelitian

Penelitian ini dikerjakan pada *software Ansys* dengan benda uji sebuah model kendaraan untuk mengetahui bagaimana perilaku aerodinamika disekitar mobil dan dilakukan juga perhitungan besarnya *coefficient drag* (CD) tiap model. Pengambilan data dilakukan pada kendaraan dengan model sport, sedan dan box.

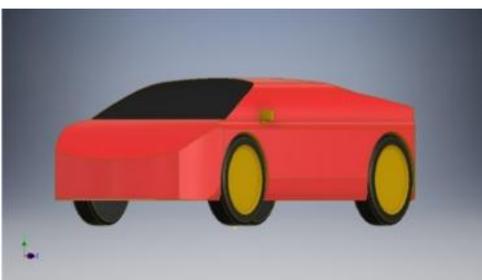
Kendaraan mobil box jenis L300, sedan jenis Toyota Vios, dan jenis Sport Lamborghini Gallardo akan disimulasikan pada ANSYS 19.2. Gambar 1, 2 dan 3 adalah model kendaraan yang diujikan.



Gambar 1. Pemodelan Mobil Box L300



Gambar 2. Pemodelan Mobil Sedan Vios



Gambar 3. Pemodelan Mobil Sport Gallardo

Parameter yang digunakan saat simulasi antara lain:

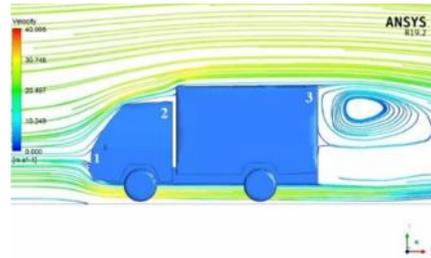
1. Temperatur udara 288K
2. Density 1,225 kg/m³
3. Viskositas dinamik 1,7894 x 10⁻⁵ kg/ms
4. Luas frontal area Mobil Box 0,00756 m²
5. Luas frontal area Mobil Sedan 0,006 m²
6. Luas frontal area Mobil Sport 0,005 m²

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Pola Aliran Pada Mobil Box

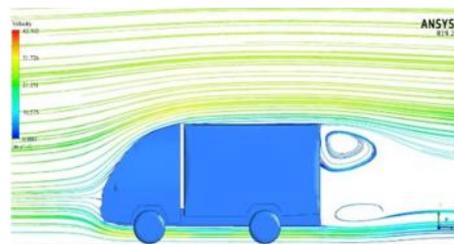
Gambar 4 terjadi tekanan positif pada bagian moncong depan kendaraan atau titik 1, hal ini

mengindikasikan adanya efek tabrakan aliran udara pada bagian depan sehingga laju aliran diperlambat dan mengakibatkan bagian depan menjadi daerah bertekanan tinggi. Titik 1 merupakan daerah tekanan tertinggi terjadi stagnasi aliran ($V=0$ m/s) aliran berwarna biru tua menandakan kecepatan aliran udara $V=0$ m/s. Titik 2 yang berada diatas atap kendaraan terjadi *blocked mass* karena garis aliran yang tidak lagi menempel pada bodi tetapi didorong menjauh menuju aliran bebas dan adanya box yang menghalangi aliran sehingga dapat menambah gaya hambat.



Gambar 4. Aliran streamline pada mobil box (plane XY)

Masalah tersebut dapat diatasi dengan menambahkan *wind deflector* (gambar 5) yang mengikuti bentuk aliran sehingga gaya hambat yang terjadi dapat diminimalisir [3]. Titik 3 dibagian belakang kendaraan terjadi tekanan negative yang mengakibatkan gaya hambat diperkuat oleh factor bentuk bodi mobil box yang kotak dan tinggi maka terjadi olakan (*wake*) yang besar pada bagian belakang.

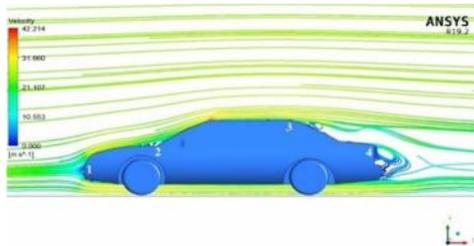


Gambar 5. Penambahan wind deflector

4.2 Pola Aliran Pada Mobil Sedan

Gambar 6 adalah model kendaraan uji yang kedua berupa mobil sedan. Titik stagnasi pada mobil sedan terjadi pada titik 1 atau moncong depan model, dapat dilihat garis berwarna biru tua pada bagian depan model kendaraan mengindikasikan bahwa kecepatan aliran udara di sekitar moncong depan kendaraan $V=0$ m/s. Pada titik 2 yaitu di antara kap mesin dan kaca terjadi separasi dan diikuti oleh terjadinya *blocked mass* karena bentuk bodi yang tidak aerodinamis. Sehingga membentuk ruang bertekanan rendah di antar kap dan kaca. Untuk mengatasi hal tersebut perlu dilakukan modifikasi bentuk bodi agar lebih aerodinamis dan gaya hambat

bisa lebih kecil. Pada titik 3 yang berada di ujung atap dan awal kaca belakang terjadi separasi aliran karena momentum fluida tidak mampu mendorong tegangan geser yang terjadi sebagai efek viskousitas, hal ini menjadi jelas dengan meningkatnya gaya hambat yang terjadi karena *adverse pressure gradient*. Karena separasi yang terjadi mendekati ujung depan kendaraan maka olakan (*wake*) menjadi besar dan gaya hambat yang dihasilkan semakin besar.



Gambar 6. Aliran streamline pada mobil box

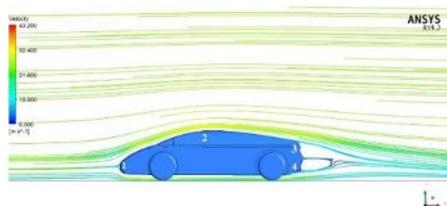


Gambar 7. Contoh modifikasi bodi yang lebih aerodinamis

Untuk mengatasi hal ini juga perlu dilakukan modifikasi pada bagian belakang kendaraan untuk menunda titik separasi didorong lebih jauh lagi. Modifikasi yang dilakukan dengan cara mengikuti bentuk aliran udara (*streamline*) maka akan menunda titik separasi lebih jauh dan gaya hambat akan semakin kecil seperti pada gambar 7.

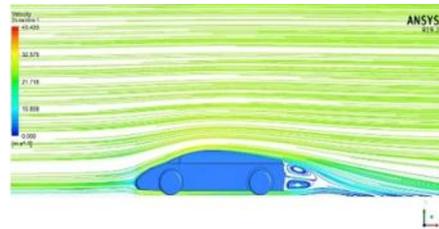
4.3 Pola Aliran Pada Mobil Sport

Gambar 8 merupakan model mobil sport, dapat dilihat pada titik 1 pada moncong bagian depan terjadi titik stagnasi dimana $v = 0$ m/s karena bentuk yang sedikit runcing maka hambat semakin kecil. Setelah aliran udara menabrak moncong depan kemudian mengalir mengikuti bentuk bodi sehingga tidak ada *blocked mass* yang menambah gaya hambat. Selain itu separasi yang terjadi juga terjadi di bagian ujung belakang model atau tepatnya pada titik 3 sehingga menghasilkan olakan (*wake*) yang kecil begitupula gaya hambat yang kecil.



Gambar 8. Aliran streamline pada mobil sport

Pada bagian bawah model (titik4) juga ditambahkan *diffuser* untuk mengatur aliran yang berada di bawah mobil sehingga olakan yang terjadi semakin kecil. Jika tidak ditambahkan *diffuser* seperti pada gambar 9 maka olakan akan semakin besar dan juga kestabilan kendaraan akan menurun.



Gambar 9. Pola aliran bagian bawah mobil tanpa difuser

4.4 Perhitungan Drag Coefficient

Dapat dilihat pada gambar 10 garis berwarna biru adalah hasil iterasi mobil box dengan hasil iterasi gaya drag sebesar 1,7 N, garis berwarna oranye mewakili mobil sedan dengan hasil iterasi 0,66 N dan yang terakhir adalah hasil iterasi mobil sport berwarna abu-abu dengan nilai iterasi sebesar 0,5 N



Gambar 10. Grafik perbandingan iterasi

5. Kesimpulan

Geometri mobil sangat berpengaruh pada gaya hambat yang dihasilkan. Jika geometri besar maka gaya hambat yang dihasilkan besar, begitu juga sebaliknya. Mobil box memiliki *coefficient drag* 1,17, mobil sedan memiliki *coefficient drag* sebesar 0,474, sedangkan mobil sport memiliki *coefficient drag* paling kecil dengan nilai 0,404.

Daftar Pustaka

- [1] Yusuf, A., 2017, *Analisa Aerodinamika Dan Optimasi Body Mobil*, Jurnal Online Mahasiswa FTeknik, Vol. 6 No.2, pp. 1-7.
- [2] Philip M. Gerhart, A. L., 2005, *Fundamentals Of Fluid Mechanics Eighth Edition*, Wiley. USA.
- [3] Muzaki, L., 2017, *Simulasi Numerik Pengaruh Penggunaan Roof Spoiler Terhadap Gaya Aerodinamis Pada*

Kendaraan Truk, Jurnal Teknik Mesin, Vol.
5 No. 2, pp. 17-24.



I Wayan Adi Usada
menyelesaikan studi S1 di
Universitas Udayana pada
Program Studi Teknik
Mesin, pada tahun 2020.
Bidang penelitian yang
diminati adalah topik-
topik yang berkaitan
dengan aerodinamika.

Uji Eksperimen Prototipe Kuarsa Piezoelektrik Dengan Variasi Ketebalan Penampang Terhadap Keluaran Arus Dan Tegangan

Made Prasta Yudist, I Gusti Ngurah Nitya Santhiarsa dan Ni Made Dwidiani
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Piezoelektrik merupakan salah satu energi alternatif ramah lingkungan yang mana juga bersifat *harvesting energy* yaitu alat yang mampu untuk memanen energi dengan menggunakan efek piezoelektrik. Efek Piezoelektrik didefinisikan sebagai kemampuan suatu bahan tertentu untuk menghasilkan listrik saat menerima tekanan. Di alam sendiri dapat ditemukan bahan yang bisa dijadikan piezoelektrik diantaranya; kuarsa (Quartz, SiO₂), turmalin, berlinite dan garam rossel. CeraSil 325 mesh merupakan produk olahan kuarsa yang digunakan dalam penelitian ini untuk pembuatan piezoelektrik. Dilakukan pengujian difraksi sinar-X menggunakan PANalytical tipe X'Pert Pro dengan intensitas maksimum 100% pada $2\theta = 26.667$ dengan bidang difraksi 3,34Å. membuktikan fasa kuarsa. Kuarsa dicetak tekan menjadi kepingan dengan diameter 2.85 cm dan variasi tebal 3 mm, 4 mm dan 5 mm kemudian dioven dengan suhu 1200°C. Keping piezoelektrik kemudian dirangkai secara parallel kemudian diuji keluaran arus dan tegangan menggunakan multimeter merk "KRISBOW" 10106731 dan osiloskop merk "KRISBOW" KW0600743 dengan hasil terbaik dimiliki oleh piezoelektrik dengan tebal 5 mm dimana keluaran arus sebesar 1.511111µA dan rata-rata tegangan sebesar 1.447778 v.

Kata kunci: *Harvesting energy, piezoelektrik, kuarsa, tegangan, arus.*

Abstract

Piezoelectric is an environmentally friendly alternative energy which is also a *harvesting energy* that is a tool that is able to harvest energy using the piezoelectric effect. The piezoelectric effect is defined as the ability of a particular material to produce electricity when it receives pressure. In nature alone can be found materials that can be used as piezoelectric; quartz (Quartz, SiO₂), tourmaline, berlinite and rossel salt. CeraSil 325 mesh is a quartz processed product used in this study for the manufacture of piezoelectric. X-ray diffraction testing was carried out using PANalytical type X'Pert Pro with a maximum intensity of 100% at $2\theta = 26.667$ with a diffraction plane of 3.34Å. prove the quartz phase. The quartz press was cut into pieces with a diameter of 2.85 cm and variations in thickness of 3 mm, 4 mm and 5 mm were then woven with a temperature of 1200°C. The piezoelectric pieces are then arranged in parallel and then tested the current and voltage output using the "KRISBOW" 10106731 multimeter and the "KRISBOW" KW0600743 brand oscilloscope with the best results owned by the 5 mm thick piezoelectric where the current output is 1.511111 µA and the average voltage is 1.447778 v.

Kata kunci: *Harvesting energy, piezoelektrik, quartz, voltage, electric current.*

1. Pendahuluan

Bidang pemanenan daya telah mengalami pertumbuhan yang signifikan selama beberapa tahun terakhir. Bidang ini merupakan sistem yang digunakan untuk mendapatkan energi yang dilakukan dengan cara memanen dari suatu sumber energi untuk menghasilkan energi lain. Pemanen energi merupakan sebuah perangkat atau sistem yang mengubah suatu bentuk energi menjadi bentuk lainnya, dimana dalam hal ini energi yang diubah adalah energi mekanis yang dikumpulkan hingga mencapai nilai tertentu kemudian dikonversi menjadi energi listrik.

Piezoelektrik adalah alat pemanen energi yang bersumber dari getaran atau tekanan dan diubah menjadi tegangan dan arus listrik. Bahan piezoelektrik adalah suatu bahan yang apabila menerima tekanan akan menghasilkan medan listrik dan sebaliknya apabila medan listrik diterapkan pada bahan piezoelektrik akan mengalami deformasi mekanik (perubahan dimensi bahan). Terdapat beberapa material yang berasal dari alam yang memiliki kemampuan piezoelektrik ini

misalnya; kuarsa (SiO₂), turmalin, *berlinite*, dan *rossel salt*.

Kuarsa atau yang lebih dikenal sebagai pasir putih oleh masyarakat luas banyak terdapat di Indonesia. Salah satu daerah yang memiliki potensi pasir kuarsa sangat melimpah adalah Sumatra yang tersebar di di berbagai daerah di setiap Provinsi di Pulau Sumatra terutama di Bangka Belitung.

Penelitian kali ini mencoba mengembangkan bidang pemanenan energi dengan memanfaatkan sumber daya alam yang dimiliki Indonesia yakni mengembangkan piezoelektrik yang berbahan dasar pasir kuarsa. Piezoelektrik yang coba dikembangkan adalah piezoelektrik yang divariasikan ketebalan penampangnya sehingga dimensi dan volumenya berubah lalu diuji keluaran arus dan tegangan yang dihasilkan untuk mengetahui perbandingan keluaran arus dan tegangan dengan ketebalan piezoelektrik. Penelitian kali ini memiliki batasan-batasan yang telah ditetapkan yang mana mencakupi hal-hal berikut

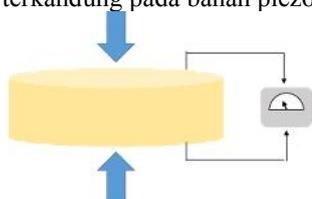
- 1) Piezoelektrik khusus menggunakan kuarsa dengan ukuran 325 mesh

- 2) Rangkaian piezoelektrik yang digunakan adalah rangkaian parallel
- 3) Piezoelektrik menggunakan pembebanan statis
- 4) Pengujian XRD membahas sebatas pembuktian bahan yang digunakan dalam pembuatan piezoelektrik berupa fasa kuarsa.

2. Dasar Teori

2.1 Piezoelektrik

Efek piezoelektrik adalah sebuah reaksi yang dimiliki oleh beberapa material tertentu yang memiliki kemampuan untuk mengubah sebuah gaya baik itu berasal dari getaran maupun tekanan menjadi energi listrik akibat adanya muatan-muatan listrik yang terkandung pada bahan piezoelektrik.



Gambar 1. Efek piezoelektrik

Kristal kuarsa adalah salah satu material yang memiliki kemampuan piezoelektrik. Kristal kuarsa pada piezoelektrik ketika mendapat tekanan muatan-muatan positif dan negatif yang terkandung pada kristal tersebut akan bergerak berlawanan arah (umumnya keatas dan kebawah) membentuk kutub positif dan negative sehingga dapat menghasilkan muatan listrik.

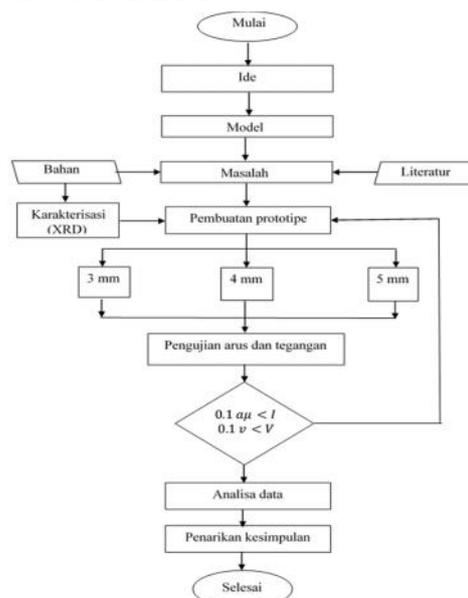
2.2 Kuarsa

Pengertian pasir kuarsa (pada umumnya dijumpai berwarna putih) berbeda pengertiannya dengan pasir putih. Pasir kuarsa terdapat sebagai endapan sedimen. berasal dari rombakan batuan yang mengandung silikon dioksida (kuarsa - SiO_2) seperti granit, riolit, granodiorite. Pasir kuarsa memiliki skala kekerasan sebesar 7 (skala Mohs), berat jenis 2.65 gram/cm^3 , titik lebur 1715°C , dan konduktivitas termal sebesar $12-100^\circ\text{C}$. Indonesia sendiri memiliki banyak sumber tambang pasir kuarsa, umumnya terletak di daerah Sumatra dan Kalimantan. Pasir kuarsa Indonesia secara umum mempunyai kandungan yaitu: SiO_2 sebesar 55.30 hingga 99,87%, Fe_2O_3 sebesar 0,01 hingga 9,14%, TiO_2 sebesar 0,01 hingga 0,4% serta kandungan Al_2O_3 sebesar 0.01 hingga 19%

2.3 CeraSil

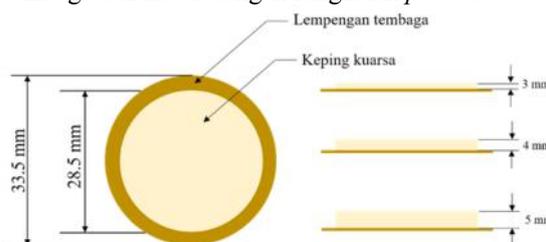
Penelitian kali ini menggunakan pasir kuarsa merk "CeraSil". Pasir CeraSil adalah salah satu produk pasir kuarsa yang diproduksi di Amerika Serikat. Pasir "CeraSil" yang digunakan adalah pasir "CeraSil" yang berukuran 325 mesh atau 44 mikron dengan kandungan kuarsa sebesar 99.61% dan zat-zat pengotor lain seperti Al_2O_3 sebesar 0.22%, Fe_2O_3 sebesar 0.02, dan TiO_2 sebesar 0.01.

3. Metode Penelitian



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Penelitian ini menguji keluaran arus dan tegangan piezoelektrik berdasarkan efek piezoelektrik yang dimiliki kuarsa. Proses manufaktur menggunakan bahan "CeraSil" 325 mesh dengan kandungan kuarsa kuarsa 99.61% dan campuran perekat CMC dengan perbandingan komposisi "CeraSil" dengan CMC 1:20. Campuran kuarsa lalu dicetak tekan dengan diameter 28.5 mm dan variasi tebal 3 (tiga) mm, 4 (empat) mm dan 5 (lima) mm. Kuarsa yang telah dicetak kemudian dilakukan proses pemanasan dengan suhu $1100-1200^\circ\text{C}$ selama 6 jam. Kuarsa yang telah menjadi kepingan kemudian dirakit dengan lempengan tembaga dan kabel dengan rangkaian *parallel*.



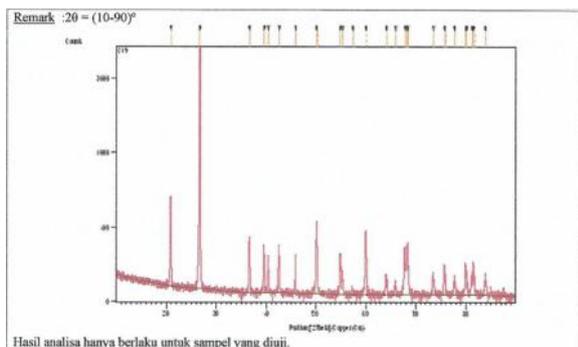
Gambar 3. Variasi tebal piezoelektrik

Kuarsa piezoelektrik kemudian diuji untuk mengetahui keluaran arus dan tegangannya. Pengujian keluaran tegangan menggunakan Osiloskop digital merk "KRISBOW" KW0600743 sedangkan pengujian keluaran arus menggunakan multimeter digital merk "KRISBOW" 10106731.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Analisis XRD

Pengujian XRD menggunakan metode *cooper anoda tube cooper* (Cu) dan gelombang yang digunakan sepanjang 1.54060 \AA



Gambar 4. Hubungan intensitas dengan sudut difraksi

Gambar 4 menunjukkan sebaran difraksi sinar-X disusun dari beberapa gelombang stabil lalu diikuti dengan adanya puncak-puncak pada bagian tertentu yang memiliki ketinggian yang berbeda-beda. Intensitas puncak/peak dalam sumbu y dan sudut difraksi yang terukur dalam sumbu x. Setiap puncak/peak mempunyai tinggi intensitas yang berbeda. Tinggi rendahnya intensitas yang terdeteksi menunjukkan jumlah foton sinar X yang terukur pada setiap perubahan sudut difraksi.

Tabel 1. Hasil uji XRD

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	Tip width [°2Th.]	Matched by
20,8962	789,50	0,1181	4,25121	16,70	0,1417	01-085-0504
26,6676	4727,20	0,1378	3,34283	100,00	0,1653	01-085-0504
36,5673	294,47	0,1181	2,45740	6,23	0,1417	01-085-0504
39,4819	223,30	0,0984	2,28244	4,72	0,1181	01-085-0504
40,3218	148,31	0,0787	2,23682	3,14	0,0945	01-085-0504
42,4746	209,74	0,0984	2,12830	4,44	0,1181	01-085-0504
45,8206	134,82	0,0787	1,98037	2,85	0,0945	01-085-0504
50,1560	463,53	0,0960	1,81738	9,81	0,1152	01-085-0504
54,8925	165,85	0,0960	1,67123	3,51	0,1152	01-085-0504
55,3304	42,58	0,2400	1,65904	0,90	0,2880	01-085-0504
57,3594	5,26	0,5760	1,60508	0,11	0,6912	01-085-0504
59,9747	306,73	0,1200	1,54119	6,49	0,1440	01-085-0504
64,0461	48,98	0,0960	1,45268	1,04	0,1152	01-085-0504
65,8566	11,82	0,2880	1,41706	0,25	0,3456	01-085-0504
67,7537	213,26	0,1200	1,38193	4,51	0,1440	01-085-0504
68,1625	228,19	0,0960	1,37463	4,83	0,1152	01-085-0504
68,3357	250,11	0,1200	1,37157	5,29	0,1440	01-085-0504
73,4573	51,53	0,1200	1,28807	1,09	0,1440	01-085-0504
75,6739	91,39	0,1440	1,25575	1,93	0,1728	01-085-0504
77,6786	42,76	0,1200	1,22828	0,90	0,1440	01-085-0504
79,9056	106,65	0,0720	1,19955	2,26	0,0864	01-085-0504
81,1866	53,54	0,1440	1,18383	1,13	0,1728	01-085-0504
81,4741	113,52	0,1200	1,18037	2,40	0,1440	01-085-0504
83,8417	56,25	0,1440	1,15296	1,19	0,1728	01-085-0504

Tabel 1 menunjukkan bahwa hasil uji XRD pada setiap sudut difraksi dan intensitas foton sinar X yang terdeteksi, pada intensitas foton tertinggi (100%) yang dapat dilihat yakni pada sudut $2\theta = 26.667$, jarak bidang difraksi yang terukur adalah $3,34\text{\AA}$. Intensitas foton tertinggi (100%) yang dapat dilihat terdapat pada sudut difraksi sebesar $2\theta = 26.7321$ dan dengan jarak bidang difraksi $3,33\text{\AA}$ [1]. Dari hasil yang tersebut disimpulkan bahwa hasil pengujian XRD mengidentifikasi fasa kuarsa. Posisi sudut yang menghasilkan intensitas maksimum dan teridentifikasi sebagai fase kuarsa ialah pada posisi $(2\theta) = 26,30^\circ$ dan indeks Miller 011 (hkl) [2]. Mengacu pada dua penelitian diatas maka dapat disimpulkan dengan demikian sampel pasir "ceraSil" yang digunakan pada penelitian kali ini sebagai material pembuat piezoelektrik teridentifikasi fase kuarsa.

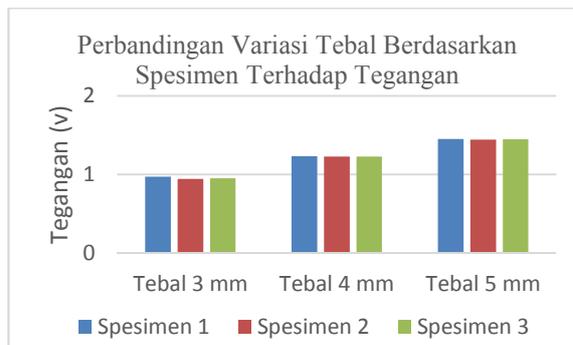
4.2 Uji Tegangan dan Arus

Piezoelektrik dengan masing-masing variasi ketebalan diuji dengan osiloskop untuk mengetahui keluaran tegangannya. Pengukuran dilakukan beberapa saat hingga didapatkan keluaran tegangan yang stabil selama lima detik.

Tabel 2. Hasil rata-rata pengujian tegangan piezoelektrik

	Tegangan (v)		
	Tebal 3 mm	Tebal 4 mm	Tebal 5 mm
Spesimen 1	0.973447	1.231333	1.454
Spesimen 2	0.944224	1.229333	1.443333
Spesimen 3	0.952556	1.228667	1.446

Tabel 2 memeperlihatkan selisih keluaran tegangan pada piezoelektrik dengan tebal 3 (tiga) mm sebesar 0.029223 v, selisih keluaran tegangan pada piezoelektrik dengan tebal 4 (empat) mm sebesar 0.02666 v, sementara selisih keluaran tegangan pada piezoelektrik dengan tebal 5 (lima) mm sebesar 0.010667 v



Gambar 5. Grafik hasil rata-rata pengujian tegangan piezoelektrik

Gambar 5 menggambarkan perbandingan keluaran tegangan pada masing-masing spesimen dan menunjukkan bahwa tegangan dari masing-masing spesimen stabil dan tidak memiliki perbedaan yang jauh.



Gambar 6. Grafik hubungan ketebalan piezoelektrik dengan keluaran arus

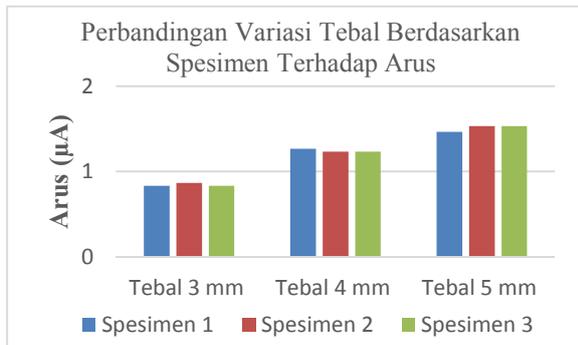
Pada Gambar 6 diatas, grafik diatas terdapat kenaikan keluaran tegangan pada tiap piezoelektrik. Kenaikan tegangan dari ketebalan 3 mm ke 4 mm sebesar $200.846 \mu\text{V}$ atau 33.7% , sedangkan kenaikan

tegangan dari ketebalan 4 mm ke 5 mm sebesar 223.948 μV atau 28.1%. Kenaikkan ini dimungkinkan karena semakin tebal kuarsa piezoelektrik maka semakin banyak kristal kuarsa yang digunakan sehingga saat menerima tekanan semakin banyak kristal kuarsa yang mengalami efek piezoelektrik sehingga keluaran tegangannya semakin tinggi.

Tabel 3. Hasil rata-rata pengujian arus piezoelektrik

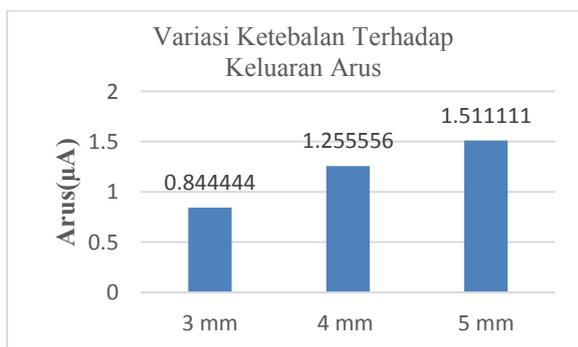
	Arus(μA)		
	Tebal 3 mm	Tebal 4 mm	Tebal 5 mm
Spesimen 1	0.833333	1.266667	1.466667
Spesimen 2	0.866667	1.233333	1.533333
Spesimen 3	0.833333	1.233333	1.533333

Tabel 3 diatas menunjukkan hasil pengujian arus dimana selisih keluaran arus pada ketiga variasi tebal yaitu 3 (tiga) mm, 4 (empat) mm dan 5 (lima) mm piezoelektrik sama yaitu sebesar 0.033333 v



Gambar 7. Grafik hasil rata-rata pengujian arus piezoelektrik

Gambar 7 menunjukkan perbandingan keluaran arus berdasarkan pengulangan pada ketiga variasi ketebalan spesimen memberikan hasil yang stabil



Gambar 8. Grafik hubungan ketebalan piezoelektrik dengan keluaran arus

Gambar 8 menunjukkan hubungan antara ketebalan piezoelektrik dengan keluaran arus, Kenaikan arus dari ketebalan 3 mm ke 4 mm sebesar 0.411112 μA atau 48.7%, sedangkan kenaikan tegangan dari ketebalan 4 mm ke 5 mm sebesar 0.255555 μA atau 20.4 %. Kenaikkan ini

dimungkinkan karena semakin tebal kuarsa piezoelektrik maka semakin banyak kristal kuarsa yang digunakan sehingga saat menerima tekanan semakin banyak kristal kuarsa yang mengalami efek piezoelektrik sehingga keluaran arusnya semakin tinggi

5. Kesimpulan

Dari hasil eksperimen keluaran tegangan dan arus untuk berbagai variasi desain ketebalan penampang pada kuarsa piezoelektrik dapat disimpulkan bahwa;

- 1) Hubungan antara ketebalan piezoelektrik dengan keluaran tegangan berbanding lurus, dimana semakin tebal piezoelektrik maka semakin banyak pula kristal kuarsa yang menerima tekanan sehingga tegangan yang dihasilkan semakin besar. Piezoelektrik dengan tebal 3 mm, 4 mm dan 5 mm masing-masing mengeluarkan tegangan sebesar 0.956742 v, 1.229778 v dan 1.447778 v.
- 2) Hubungan antara ketebalan piezoelektrik dengan keluaran arus berbanding lurus, dimana semakin tebal piezoelektrik maka semakin banyak pula kristal kuarsa yang menerima tekanan sehingga tegangan yang dihasilkan semakin besar. Piezoelektrik dengan tebal 3 mm, 4 mm dan 5 mm masing-masing mengeluarkan tegangan sebesar 0.844444 μA , 1.255556 μA , dan 1.511111 μA

Daftar Pustaka

- [1] Muliawan, A., 2017, *Studi Awal Bahan Dasar Piranti Solar Cell Pada Pasir Sambera Muara Badak Menggunakan Xrf Dan Xrd*, Teknik Mesin Univ. Muhammadiyah Metro, Vol. 6 No. 2, pp. 117–122.
- [2] Munasir Zainuri M., & Darminto, 2012, *Uji Xrd Dan Xrf Pada Bahan Meneral (Batuan Dan Pasir) Sebagai Sumber Material Cerdas (CaCO3 DAN SiO2)*, Penelitian Fisika Dan Aplikasinya (JPFA), Vol. 2 No. 1, pp. 20–29.



Made Prasta Yudist telah menyelesaikan studi Strata-1 di Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana pada Program Studi Teknik Mesin, pada tahun 2020.

Fokus penelitian yang ditekuni pada penelitian ini menyangkut hal-hal mengenai teknologi material dan listrik.

Karakteristik Mekanik Komposit Poliester Diperkuat Serat *Cordyline australis* (Daun Praksok) dengan Variasi Fraksi Berat

I Komang Putra Atmaja, I Wayan Surata, Tjokorda Gde Tirta Nindhia
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

*Seiring berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi kebutuhan akan material logam juga semakin meningkat, maka diperlukan material alternatif lain yang dapat mengimbangi sifat dan keunggulan material logam salah satunya yaitu material komposit. Komposit saat ini menggunakan serat sintetis yang tidak ramah lingkungan sehingga diperlukan penguat yang lebih ramah lingkungan yaitu serat dari alam. Serat daun praksok menjadi potensi sebagai bahan penguat komposit. Bahan yang digunakan adalah serat daun praksok (*Cordyline australis*), matriks poliester 157 BQTN EX dan hardener MEKPO. Serat direndam dengan NaOH 5% selama 2 jam. Komposit serat daun praksok disusun secara acak dan dibuat dengan metode hand layup. Pengujian tarik komposit menggunakan standar ASTM D3039 dan uji lentur menggunakan ASTM D790. Pengamatan visual digunakan untuk mengetahui mekanisme patahannya. Hasil penelitian dari komposit berpenguat serat daun praksok dengan fraksi berat serat 2,5%, 5%, 7,5% dan 10% kekuatan tarik tertinggi ada pada fraksi berat serat 10% dengan nilai kekuatan tarik rata-rata sebesar 19,164 MPa. Sedangkan kekuatan lentur tertinggi terdapat pada fraksi berat serat 0% dengan nilai 89,574 MPa hal ini disebabkan karena sifat serat yang getas. Pada pengamatan patahan, semakin tinggi fraksi berat serat maka matrix flow pada komposit semakin rendah dikarenakan jumlah serat semakin meningkat.*

Kata Kunci : Serat daun praksok, fraksi berat serat, kekuatan tarik, kekuatan lentur.

Abstract

As science and technology have developed, the metal materials need is also increasing. Therefore, it needs other alternative materials that can compensate the properties and advantages of metal materials, which is a composite material. Composites currently use unsustainable synthetic fibers, hence an eco-friendly reinforcer is needed, namely natural fiber. Praksok leaf fiber has potential as a composite reinforcing material.

The specimens used in the current study are Cordyline australis leaves fiber, matrix polyester 157 BQTN EX and hardener MEKPO. The fibers were soaked with 5% NaOH for 2 hours. The Cordyline australis leaves fiber were piled up and constructed by employing the hand layup method. The composite tensile test used ASTM D3039 standard and the flexibility test used ASTM D790-03 standard. Visual observation was done to discover the fracture mechanism.

The Cordyline australis leaves fiber strength composite with 2,5%, 5%, 7,5%, and 10% weight fiber fraction were gained. As the result, the weight fiber fraction 10% has the highest tensile force with the average value at 19,164 MPa. Meanwhile, the weight fraction 0% presents the highest flexibility force with value at 89,574 MPa since the characteristic of fiber is brittle. The higher weight fraction is, the lower the matrix flow gets on the composite during the fracture observation since the number of fiber increases.

Keywords: Cordyline australis leaves fiber, weight fiber fraction, tensile strength, flexural strength.

1. Pendahuluan

Seiring berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, kebutuhan material juga semakin meningkat terutama material logam. Perkembangan yang meningkat mengakibatkan kebutuhan akan bahan material logam semakin meningkat sehingga material yang tersedia di alam akan berkurang dimana saat ini sebagian besar industri mengandalkan material logam. Sehingga diperlukan gagasan-gagasan baru yang dapat mengimbangi sifat dari material logam, salah satunya yaitu material komposit.

Komposit merupakan material alternatif karena komposit memiliki sifat ringan, kuat, tahan terhadap korosi [1]. Komposit terdiri dari pengikat dan penguat. Salah satu jenis penguatnya yaitu serat. Serat terdiri dari dua jenis yaitu serat alam dan serat sintetis. Serat alam dihasilkan dari alam. Serat sintetis dibuat dengan rekayasa teknik dimana

memiliki sifat yang homogen seperti serat glass, serat karbon, gravit dan kevlar.

Selain serat sintetik, serat alam juga memiliki potensi sebagai penguat komposit. Menurut [2], komposit yang diperkuat serat alam memiliki kelebihan dibandingkan komposit yang diperkuat dengan serat sintetis karena ramah lingkungan, tersedia di alam, mampu terurai secara alami dan memiliki harga produksi yang jauh lebih murah dibandingkan serat sintetis.

Berdasarkan uraian di atas, peneliti mencoba melakukan penelitian pembuatan komposit berpenguat serat daun praksok (*Cordyline australis*) sebagai material penguat dengan matrik poliester sebagai bahan pengikat. Pemilihan daun praksok karena ketersediaan banyak, dapat dibudidayakan dan masih belum dimanfaatkan. Dalam penulisan jurnal ini terdapat beberapa hal yang dapat dikaji, antara lain:

1. Bagaimana pengaruh fraksi berat terhadap sifat mekanis yang terdiri dari kekuatan tarik?
2. Bagaimana pengaruh fraksi berat terhadap sifat mekanis yang terdiri dari kekuatan lentur?

2. Dasar Teori

2.1. Komposit

Komposit adalah material yang terdiri dari perpaduan dua atau lebih material yang memiliki sifat yang berbeda pada material penyusun tersebut [3].

2.2. Serat Alam

Pada komposit, serat berfungsi sebagai penguat terhadap matrik. Ikatan antarmuka antara serat dan matrik mempengaruhi kekuatan komposit. Kombinasi serat dengan matriks akan memberikan kekuatan yang tinggi dan memiliki densitas yang rendah [4]. Adapun sifat mekanis dari serat alam menurut [5] sebagai berikut:

Tabel 1 Sifat Mekanis Serat Alam

Material	Density (g/cm ³)	Tensile Strength (MPa)	Young Modulus (GPa)	Failure Strain (%)
Flax	1.45	500-900	50-70	1.5-4.0
Hemp	1.48	350-800	30-60	1.6-4.0
Jute	1.3	300-700	20-50	1.2-3.0
Bamboo	1.4	500-700	30-50	2
Coir	1.2	150-180	4-6	20-40
Sisal	1.5	300-500	10-30	2-5

Salah satu contoh serat alam yaitu serat dari daun praksok. Pohon praksok merupakan tanaman monokotil yang bercabang. Tinggi pohon ini bisa mencapai 12 meter atau lebih dengan batang yang kokoh dan daunnya berbentuk seperti pedang dengan panjang dapat mencapai 1 meter yang berkerumunan diujung cabang.

2.3. Matriks

Menurut [6], matrik berfungsi sebagai pengikat serat, melindungi serat serta mendistribusikan beban ke serat. Adapun sifat mekanis dari matriks menurut [7] sebagai berikut:

Tabel 2 Spesifikasi Unsaturated Polyester Resin Yukalac 157 BTQN-EX

Nomor	Parameter	Nilai
1	Densitas	1,20 g/cm ³
2	Kekuatan tarik	12,07 MPa
3	Modulus elastisitas	1,18 GPa
4	Poisson ratio	0,33

2.4. Perhitungan Campuran Komposit

Untuk menentukan jumlah serat dan matrik yang digunakan dapat menggunakan fraksi volume (Fv) dan fraksi berat (Fw) dengan persamaan berikut :

$$w_c = w_f + w_m \quad (1)$$

$$w_f = \frac{w_f}{w_c} \quad (2)$$

2.5. Uji Tarik

Uji tarik merupakan pengujian material yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik dan tegangan elastisitasnya. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan ASTM D 3039.

$$\sigma = \frac{P}{A_0}, \epsilon = \frac{L-L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0}, E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (3)$$

2.6. Uji Lentur

Uji lentur merupakan pengujian material yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan material terhadap bending atau pembengkokan. Pengujian ini dilakukan menggunakan standar ASTM D 790-03.

$$\sigma_b = \frac{3Pl}{2bd^2}, E = \frac{l^3 m}{4bd^3}, \epsilon = \frac{6Dd}{l^2} \quad (4)$$

2.7. Pengamatan Permukaan Patah Dengan Mikroskop Makro

Setelah melakukan uji tarik dan lentur, dilakukan pengamatan terhadap patahan yang terjadi pada masing-masing fraksi berat serat. titik A terjadi *overload* yaitu patahan yang diakibatkan ikatan antarmuka serat dan matrik yang kuat. Pada titik B terjadi *pullout* yaitu patahan yang diakibatkan ikatan antarmuka serat tidak kuat sehingga serat terlepas dari matrik. Pada titik C terjadi *delamination* yang disebabkan karena tingginya tegangan interlaminar. Pada titik D terjadi *matrix flow* yaitu karena matriks terlalu berlebihan sehingga terjadi pergeseran alur pada matriks [8].



Gambar 1 Mekanisme Kegagalan Pada Patahan

3. Metode Penelitian

3.1. Penyiapan Bahan

Pada penelitian digunakan bahan :

1. Serat daun praksok

Serat daun praksok diperoleh dengan menggunakan metode *water retting* dimana air sebagai media pemisah antara serat dengan unsur lainnya pada daun. Lama perendaman membutuhkan waktu 30 hari. Serat kemudian direndam dengan NaOH 5% dengan lama 2 jam, setelah direndam serat dikeringkan tanpa dikenai sinar matahari langsung kemudian serat dipotong dengan ukuran 3cm.

2. Poliester

Matriks yang digunakan yaitu Poliester Yukalac BQTN 157 dan dicampurkan dengan katalis *metil etil peroxide* (MEKPO) 1%.

3.2. Penyiapan Alat

1. Cetakan komposit

Cetakan komposit terbuat dari kaca dengan ketebalan 15 mm sebagai alas dan tutup dan ketebalan 3 mm sebagai alat cetakan komposit dengan dimensi cetakan yaitu 15 cm x 25 cm x 3 cm.

2. Alat uji

Pengujian dilakukan dengan mesin uji tarik dan lentur

3.3. Prosedur Penelitian

Dalam penelitian menggunakan komposit serat daun praksok terdapat prosedur penelitian sebagai berikut :

1. Siapkan serat daun praksok dengan menggunakan 2-3 daun dari daun yang paling bawah.
2. Rendam serat dengan NaOH dengan kadar 5% selama 2 jam.
3. Pemotongan serat dengan panjang 3 cm.
4. Ukur matrik *unsaturated polyester* jenis Yukalac 157 BQTN sesuai dengan volume komposit yang akan dicetak.
5. Tambahkan hardener *metil etil peroxide* (MEKPO) 1% (v/v).
6. Campuran poliester, hardener, dan serat daun praksok sesuai dengan perhitungan fraksi berat ke dalam cetakan.
7. Cetakan ditutup dan diberikan beban pemberat sekitar 20 Kg selama 24 jam.
8. Keluarkan komposit dari cetakan dan masukkan kedalam oven dengan temperatur 65⁰C selama 2 jam.
9. Potong spesimen sesuai dengan ukuran spesimen untuk uji tarik dan uji lentur.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Uji Tarik

Hasil dari uji tarik ditampilkan sebagai berikut:

Tabel 3 Perhitungan Kekuatan Tarik Komposit

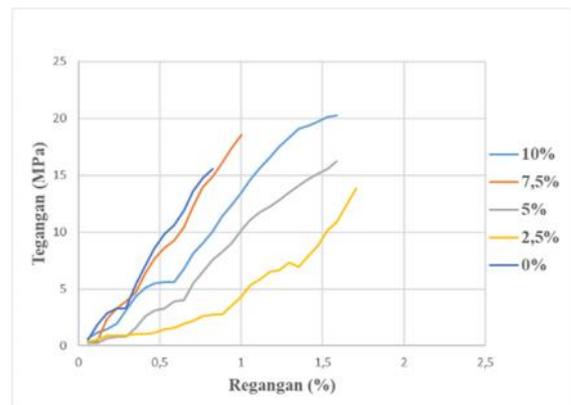
Penguji Tarik Komposit			
Fraksi Berat Serat 0%			
No	σ (MPa)	ϵ (%)	E(GPa)
Spesimen 1	11,237	1,471	0,764
Spesimen 2	15,549	0,824	1,888
Spesimen 3	9,408	1,529	0,615
Rata-rata	12,065	1,275	1,089
Fraksi Berat Serat 2,5%			
No	σ (MPa)	ϵ (%)	E(GPa)
Spesimen W1	12,152	1,647	0,738
Spesimen W2	12,152	1,765	0,689
Spesimen W3	13,851	1,706	0,812
Rata-rata	12,718	1,706	0,746
Fraksi Berat Serat 5%			
No	σ (MPa)	ϵ (%)	E(GPa)
Spesimen X1	16,072	3,294	0,488
Spesimen X2	16,203	1,588	1,020
Spesimen X3	13,720	1,529	0,897
Rata-rata	15,332	2,137	0,802
Fraksi Berat Serat 7,5%			
No	σ (MPa)	ϵ (%)	E(GPa)
Spesimen Y1	18,555	1,000	1,855
Spesimen Y2	16,072	1,118	1,438
Spesimen Y3	17,117	2,000	0,856
Rata-rata	17,248	1,373	1,383
Fraksi Berat Serat 10%			
No	σ (MPa)	ϵ (%)	E(GPa)
Spesimen Z1	18,555	1,941	0,956
Spesimen Z2	18,685	1,529	1,222
Spesimen Z3	20,253	1,588	1,275
Rata-rata	19,164	1,686	1,151

Berdasarkan data di atas terdapat grafik hubungan kekuatan tarik, regangan dan modulus elastisitas sebagai berikut.

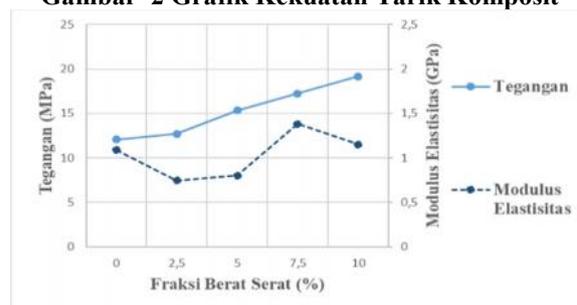
Gambar 2 menunjukkan hubungan antara tegangan dan regangan komposit serat daun praksok dengan variasi fraksi berat serat 0%, 2,5%, 5%, 7,5% dan 10%.

Gambar 3 menunjukkan hubungan antara tegangan tarik dan modulus elastisitas dengan fraksi

berat. Nilai terendah pada fraksi berat serat 0% dengan nilai rata-rata kekuatan tariknya sebesar 12,065 MPa. Pada 2,5% meningkat dengan rata-rata kekuatan tariknya 12,718 MPa. Pada fraksi berat serat 5% kekuatan tariknya meningkat dengan rata-rata kekuatan tariknya sebesar 15,332 MPa. Pada fraksi berat serat 7,5% memiliki kekuatan tarik sebesar 17,248 MPa. Nilai kekuatan tarik komposit serat praksok tertinggi ada pada fraksi berat serat 10% dengan nilai kekuatan rata-ratanya sebesar 19,164 MPa.



Gambar 2 Grafik Kekuatan Tarik Komposit



Gambar 3 Grafik Pengaruh Fraksi Berat Serat Terhadap Kekuatan Tarik



Gambar 4 Grafik Pengaruh Fraksi Berat Serat Terhadap Regangan

Nilai modulusitas pada fraksi berat 0% sebesar 1,089 GPa, pada fraksi berat 2,5% nilai modulus elastisitas sebesar 0,746 GPa, pada fraksi berat serat 5% nilai modulus elastisitas sebesar 0,802 GPa, pada fraksi berat 7,5% nilai modulus elastisitasnya 1,383 GPa dan pada fraksi berat 10% nilainya 1,151 GPa.

Gambar 4 menunjukkan hubungan regangan terhadap fraksi berat serat. Nilai regangan pada fraksi berat serat 0% adalah 1,275%, pada fraksi berat serat

2,5% mengalami peningkatan dengan nilai 1,706%, pada fraksi berat serat 5% mengalami peningkatan dengan nilai 2,137%, nilai regangan mengalami penurunan pada fraksi berat 7,5% dengan nilai 1,373% dan pada fraksi berat 10% nilai regangan mengalami peningkatan dengan nilai 1,686%.

Dilihat pada foto makro, semakin besar fraksi berat serat maka terjadi patahan yang bersifat *overload* dimana terjadi ikatan antara serat dengan matrik yang kuat. Sehingga seiring meningkatnya fraksi berat kekuatan tarik semakin meningkat.

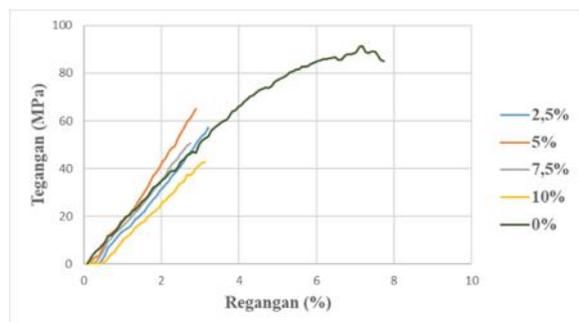
4.2. Uji Lentur

Hasil dari uji lentur ditampilkan sebagai berikut:

Tabel 4 Perhitungan Kekuatan Lentur Komposit

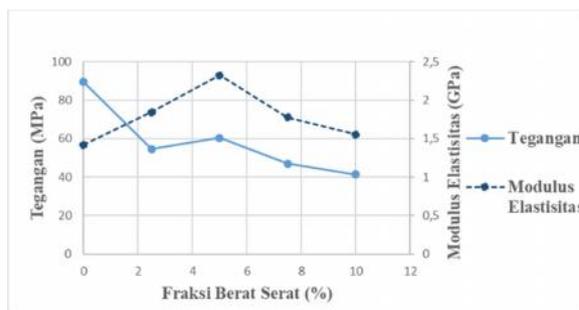
Pengujian Bending Komposit			
Fraksi Berat Serat 0%			
No	σ (MPa)	ϵ (%)	E(GPa)
Spesimen 1	85,746	6,562	1,306
Spesimen 2	91,487	5,468	1,672
Spesimen 3	91,487	7,187	1,272
Rata-rata	89,574	6,406	1,417
Fraksi Berat Serat 2,5%			
No	σ (MPa)	ϵ (%)	E(GPa)
Spesimen A1	50,559	2,656	1,903
Spesimen A2	56,022	3,047	1,839
Spesimen A3	57,380	3,203	1,791
Rata-rata	54,654	2,969	1,844
Fraksi Berat Serat 5%			
No	σ (MPa)	ϵ (%)	E(GPa)
Spesimen B1	57,751	2,422	2,385
Spesimen B2	58,306	2,500	2,332
Spesimen B3	65,128	2,891	2,253
Rata-rata	60,395	2,604	2,323
Fraksi Berat Serat 7,5%			
No	σ (MPa)	ϵ (%)	E(GPa)
Spesimen C1	44,478	2,422	1,837
Spesimen C2	50,682	2,734	1,854
Spesimen C3	46,021	2,813	1,636
Rata-rata	47,061	2,656	1,775
Fraksi Berat Serat 10%			
No	σ (MPa)	ϵ (%)	E(GPa)
Spesimen D1	42,879	3,125	1,372
Spesimen D2	41,268	2,500	1,651
Spesimen D3	39,848	2,422	1,645
Rata-rata	41,332	2,682	1,556

Berdasarkan data diatas, terdapat grafik hubungan kekuatan lentur dengan fraksi berat, regangan lentur dan modulus elastisitas dengan fraksi berat sebagai berikut:

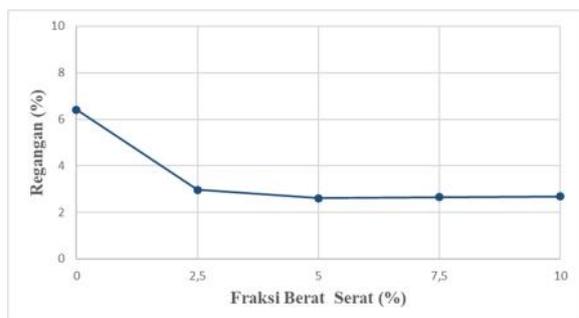


Gambar 5 Grafik Hubungan Tegangan Lentur dengan Regangan Lentur

Pada gambar 5 menunjukkan hubungan tegangan lentur dengan regangan lentur dengan variasi fraksi berat serat 0%, 2,5%, 5%, 7,5% dan 10%.



Gambar 6 Grafik Pengaruh Fraksi Berat Serat Terhadap Tegangan Lentur Komposit



Gambar 7 Grafik Pengaruh Fraksi Berat Serat Terhadap Regangan Lentur Komposit

Pada gambar 6 menunjukkan grafik hubungan fraksi berat serat terhadap tegangan lentur dan modulus elastisitas. Nilai rata-rata tertinggi kekuatan lentur komposit ada pada fraksi berat serat 0% dengan nilai sebesar 89,574 MPa. Pada fraksi berat 5% dengan nilai sebesar 60,395 MPa. Dimana yang terendah ada pada fraksi berat serat 10% dengan nilai rata-rata kekuatan lentur sebesar 41,332 MPa. Pada fraksi berat serat 2,5% dan 7,5% memiliki nilai kekuatan lentur rata-rata sebesar 54,654 MPa dan 46,061 MPa.

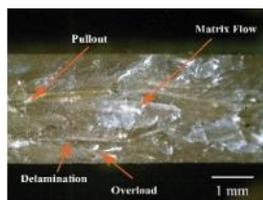
Nilai modulus elastisitas pada fraksi berat serat 0% sebesar 1,417 GPa, pada fraksi berat serat 2,5% dengan nilai 1,844 GPa, pada fraksi berat serat 5% dengan nilai 2,323 GPa, pada fraksi berat serat 7,5% nilai modulus elastisitas dengan nilai 1,775 GPa dan pada fraksi berat serat 10% memiliki modulus elastisitas dengan nilai 1,556 GPa.

Melalui pola patahan pada material yang dapat dilihat pada foto makro, dapat diketahui permukaan material yang patah tersebut permukaannya kasar, hal ini menunjukkan material ini bersifat getas. Karena posisi serat yang acak atau saling tumpang tindih menyebabkan serat rawan patah yang mengakibatkan beban yang diserap juga kurang maksimal.

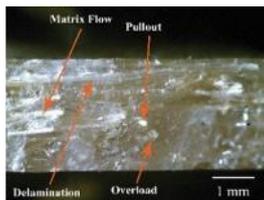
4.3. Foto makro

Foto makro dengan pembesaran 20X dapat dilihat sebagai berikut. Pada gambar .8 patahan dari spesimen uji tarik dengan fraksi berat serat 2,5% terlihat terjadi patahan dengan didominasi *matrix flow* dengan luas sekitar 40,5%. Hal tersebut diakibatkan karena kurangnya serat, sehingga mengakibatkan ruang kosong tanpa ikatan matriks dan serat banyak ditemui yang mengakibatkan nilai kekuatan menjadi lebih rendah. Pada gambar 4.9

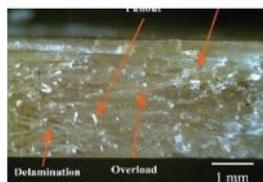
patahan terlihat patahan dengan *matrix flow* dengan luasnya 19,6%. Selain *matrix flow* terdapat juga delamination dan overload pada patahan tersebut. pada fraksi berat serat 7,5% pada gambar 4.10 terjadi patahan *matrix flow* dengan luas 17,8%. Selain itu terdapat patahan berupa pullout, serta didominasi dengan patahan delamination dan overload. Kekuatan tarik tertinggi ada pada fraksi berat serat 10%, terlihat pada gambar 4.11 patahan *matrix flow* memiliki perbandingan luas sekitar 13,2% dengan patahan overload dan delamination yang paling dominan sedangkan patahan pullout terlihat sedikit.



Gambar 8 Fraksi Berat Serat 2,5%



Gambar 9 Fraksi Berat Serat 5%



Gambar 10 Fraksi Berat Serat 7,5%



Gambar 11 Fraksi Berat Serat 10%

4.4. Foto Mikro

Foto mikro dengan pembesaran 40X dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 12 Fraksi Berat Serat 2,5%



Gambar 14 Fraksi Berat Serat 7,5%



Gambar 13 Fraksi Berat Serat 5%



Gambar 15 Fraksi Berat Serat 10%

Pada foto mikro tersebut terlihat bahwa ikatan yang terjadi antar matriks dengan serat terjadi ikatan yang sempurna.

5. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini yaitu:

1. Kekuatan tarik dipengaruhi dengan meningkatnya jumlah serat dimana kekuatan

tarik tertinggi ada pada fraksi berat serat 10% dengan nilai rata-rata tegangan tarik sebesar 19,164 MPa.

2. Kekuatan lentur cenderung menurun seiring meningkatnya jumlah serat dimana kekuatan lentur tertinggi ada pada fraksi berat serat 0% dengan nilai rata-rata tegangan 89,574 MPa.
3. Dari foto makro terlihat semakin besar nilai fraksi berat serat maka *matrix flow* semakin menurun, hal ini disebabkan karena jumlah serat semakin meningkat.

Daftar Pustaka

- [1] Nurmawati, 2008, *Pengaruh Waktu Tahan Sinter dan Fraksi Volume Penguat AL2O3 Terhadap Karakteristik Laminat AL/SiC-AL/AL2SO3 Produk Metalurgi Serbuk*, Skripsi, no. 1, pp. 1–23.
- [2] I. Munandar, S. Savetlana, dan S. Sugiyanto, 2013, *Kekuatan Tarik Serat Ijuk (Arenga Pinnata Merr)*, J. Ilm. Tek. Mesin FEMA, vol. 1, no. 3, pp. 97942.
- [3] T. Surdia dan S. Saito, 1999, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Jakarta: Pradnya Paramita.
- [4] Muhammad dan R. Putra, 2014, *Bahan Ajar Bahan Teknik*, Aceh Utara: Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.
- [5] T. Raja, P. Anand, M. Karthik, dan M. Sundaraj, 2017, *Evaluation of mechanical properties of natural fibre reinforced composites - A review*, Int. J. Mech. Eng. Technol., vol. 8, no. 7, pp. 915–924.
- [6] R. F. Gibson, 1994, *Principles of Composite Material Mechanics*, New York: McGraw-Hill, Inc.
- [7] I. W. Surata, T. G. T. Nindhia, I. K. A. Atmika, dan I. N. Wirawan, 2016, *Karakterisasi Sifat Mekanik Biokomposit Berpenguat Serat Rumput Laut sebagai Bahan Teknik Alternatif yang Ramah Lingkungan*, Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XV, MT-006
- [8] C. R. Brooks dan A. Choudhury, 2002, *Failure analysis of engineering materials*, New York: McGraw-Hill.



I Komang Putra Atmaja menyelesaikan studi program sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2016 sampai 2020. Ia menyelesaikan studi program sarjana dengan topik penelitian “Karakteristik Mekanik Komposit Poliester Diperkuat Serat *Cordyline australis* (Daun Praksok) dengan Variasi Fraksi Berat”. Area penelitian yang diminati adalah rekayasa manufaktur yang terdiri dari material komposit.

Kekuatan Tarik Dan Lentur Komposit Poliester Berpenguat Serat *Cordyline Australis* (Daun Praksok) Dengan Perlakuan Air Laut

Ida Bagus Kresnasandi, I Wayan Surata, Tjokorda Gde Tirta Nindhia
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Komposit adalah material baru yang dibuat dengan menggabungkan dua atau lebih material dengan karakteristik berbeda. Inilah kenapa komposit diperkuat serat alami dibuat. Salah satu serat alami adalah serat daun praksok (*Cordyline australis*). Metode alternatif untuk menghilangkan kontaminan serat dengan menggunakan air laut perlu diteliti lebih lanjut. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh air laut terhadap kekuatan tarik dan lentur komposit yang diperkuat serat *cordyline australis*. Pengujian tarik menggunakan ASTM D3039. Pengujian lentur menggunakan ASTM D790–03. Hasil menunjukkan tegangan maksimum sebesar 15,29 MPa terjadi saat direndam dalam air laut selama 6 jam dengan regangan sebesar 1,71%. Regangan maksimum sebesar 2,29% terjadi saat direndam dalam air laut selama 2 jam dengan tegangan sebesar 15,11 MPa. Jika dibandingkan dengan kekuatan tarik matriks saja menunjukkan terjadi peningkatan tegangan sebesar 127% ketika direndam dalam air laut selama 6 jam dan peningkatan sebesar 180% dalam regangan ketika terendam dalam air laut selama 2 jam. Untuk uji lentur menghasilkan tegangan dan regangan maksimum pada 46,42 MPa dan 2,08% ketika direndam dalam air laut selama 2 jam. Sebuah penurunan regangan dan tegangan lentur masing-masing sebesar 66,5% dan 49%. Ikatan yang baik antara serat dan matriks tercapai dengan sebagian besar terjadi patahan jenis overload.

Kata Kunci: Komposit, daun praksok (*Cordyline australis*), air laut

Abstract

Composite is a new material made with two or more materials that has different characteristics. Natural fiber reinforced composite is a new material where in this study uses *Cordyline australis* fibers. The method for removing fiber contaminants using seawater need further study. The main objective of this research is to study the effect of sea water on the tensile and flexural strength of *cordyline australis* fiber reinforced composite. Tensile testing based on ASTM D3039. Flexural testing based on ASTM D790-03. The results showed maximum stress of 15.29 MPa occurred when submerged in seawater for 6 hours with an elongation of 1.71%. The maximum strain of 2.29% occurs when submerged in seawater for 2 hours with an elongation of 15.11 MPa. For the flexural test the maximum stress and strain at 46.42 MPa and 2.08% compilation were submerged in sea water for 2 hours. A decrease in strain and flexural stress were 66.5% and 49%, respectively. A good bond between the fiber and matrix is achieved with overload type fracture present

Keywords: Composites, *Cordyline australis*, seawater

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi yang cepat, kebutuhan manusia juga semakin meningkat. Maka dari itu produsen selalu mencari cara untuk meningkatkan kualitas material agar memberikan performa terbaik. Kebanyakan material yang ada seperti baja, tembaga, kuningan, polimer, dan lain-lain sering tidak memenuhi syarat yaitu material ringan dengan kekuatan tarik yang tinggi. Pada bidang industri penerbangan, perkapalan, dan otomotif kualitas dan performa material yang baik merupakan sebuah keharusan untuk memberikan hasil performa terbaik. Material Komposit merupakan material gabungan yang memiliki dua atau lebih material dengan sifat berbeda yang akan membentuk sebuah material baru dengan kekuatan hasil dari gabungan tersebut [1]. Komposit yang sering digunakan pada industri adalah komposit berpenguat serat sintetik. Serat sintetik mampu memberikan *power to weight ratio* yang baik, akan

tetapi penggunaan serat tersebut secara berkelanjutan berbahaya bagi lingkungan sebab serat sintetik tidak dapat diuraikan secara alami dan akan menimbun pada permukaan bumi. Banyak cara yang dilakukan untuk mendapat material yang lebih ramah lingkungan dan salah satu caranya adalah melalui serat alami (*Natural Fibers*).

Serat alami merupakan serat dari tumbuhan yang sudah ekstraksi, salah satu metode untuk mendapatkan serat tersebut adalah melalui *water retting*. Untuk pembuatan komposit berpenguat serat alami memerlukan pengikat yang berupa matriks.

Resin Poliester BTQN 157 merupakan resin yang sering digunakan dalam industri perkapalan, seperti pada boat, alat-alat *water sport*. Serat yang digunakan sebagai penguat perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap pengaruh air laut terhadap sifat-sifat mekanis komposit bila serat direndam dan dibersihkan dengan air laut,

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh lama perendaman serat dengan air laut pada komposit, khususnya pada sikuatan tarik dan lentur komposit. Pengujian uji tarik pada spesimen akan dilakukan dengan standar ASTM D 3039 dan untuk uji lentur akan dilakukan sesuai standar ASTM D 790-03

Dalam penelitian ini ada beberapa masalah yang akan dijadi, yaitu:

1. Bagaimana pembentukan komposit berpenguat serat daun praksok dengan matriks *polyester* menggunakan teknik *Hand Layup*
2. Bagaimana pengaruh air laut terhadap kekuatan tarik dan lentur komposit berpenguat serat praksok

2. Dasar Teori

2.1. Komposit

Komposit adalah kombinasi dari dua atau lebih material yang menghasilkan sifat yang lebih baik dibandingkan kedua komponen individual pembentuk komposit tersebut [1]. Komposit pada umumnya dibentuk oleh dua jenis material yaitu material pengikat dan material penguat. Material penguat komposit memberi kekuatan dan tegangan yang tinggi dan dalam banyak kasus material penguat selalu memiliki sifat yang lebih keras, kaku dan kuat dibandingkan matriks. Berbeda dengan baja, setiap material pembuat komposit tetap menjaga komposisi kimia, fisik, dan sifat mekanis material pembentuk [2].

2.2. Serat Sebagai Penguat Komposit

Komposit merupakan material gabungan dalam skala makroskopis dari dua material dengan sifat yang berbeda [3]. Terdapat 3 jenis metode penguat komposit yaitu:

1. Serat Panjang (*Continuous fiber*)
Komposit dengan serat panjang memiliki arah serat yang sudah ditentukan, seperti: satu arah (*unidirectional*) dan teranyam (*woven*). Pada umumnya serat penguat komposit jenis ini memiliki aspek rasio (l/d) yang panjang
2. Serat Pendek (*Discontinuous fiber*)
komposit dengan serat pendek memiliki aspek rasio (l/d) yang pendek. Komposit dengan serat pendek biasanya memiliki kekuatan dan kekakuan yang rendah dibandingkan komposit serat panjang
3. Serat Acak (*Discontinuous random oriented fiber*)
Komposit jenis ini memiliki aspek rasio (l/d) yang pendek akan tetapi, serat tersebar secara merata tanpa adanya arah yang ditentukan.

2.3. Serat Alam

Serat alam merupakan salah satu bagian dari makhluk hidup yang bisa didapatkan dari tumbuhan, binatang, atau sumber mineral. Jika dibandingkan dengan serat sintetik, serat alam memiliki kekuatan yang relatif lebih rendah

2.4. Serat Daun Pohon Praksok

Serat daun praksok merupakan serat yang tergolong serat alami yang bisa didapatkan dari Pohon Praksok atau dengan nama lain *Cordyline australis*. Tinggi pohon praksok bisa mencapai 12 meter dengan panjang daun yang mampu mencapai 1 meter.

2.5. Matriks

Matriks merupakan material pengikat yang digunakan pada komposit yang berfungsi untuk menransfer beban, memberi ikatan pada komposit, dan kualitas permukaan komposit. Terdapat 4 jenis matriks yaitu: Polimer, Poliester, Keramik, dan Karbon

2.6. Metode Pencetakan Komposit

Dalam penelitian ini digunakan proses cetakan terbuka sebab metode *hand layup* merupakan salah satu bagian dari proses cetakan terbuka. Dimana matriks dituangkan kedalam serat yang sudah ditata baik pada cetakan. Setelah itu beban sebesar 20kg diberikan dan cetakan dibiarkan selama 24 jam.

2.7. Air Laut

Air adalah elemen yang paling banyak ada di bumi, kebanyakan air itu adalah air laut. Air laut memiliki enam komposisi terbesar yaitu adalah *chloride* (Cl^-), *sodium* (Na^+), *sulfate* (SO_4^{2-}), *magnesium* (Mg^{2+}), *calcium* (Ca^{2+}), and *potassium* (K^+). Air laut mengandung antara 35,000 – 42,000 ppm bermacam zat terlarut, dengan sebagian besar garam $NaCl$ [4]. Akan tetapi komposisi ini sangat bervariasi sebab adanya penambahan unsur lain dari sungai, penguapan, hujan, dan lain-lain.

2.8. Uji Tarik

Pengujian dilakukan dengan standar ASTM D 3039 yang dilakukan dengan pengamatan terhadap perkembangan beban serta penambahan panjang konstan selama pengujian berlangsung. Spesimen uji tarik dibuat sesuai dengan ASTM D 3039 seperti yang di tunjukan pada Gambar 1



Gambar 1. Spesimen Uji Tarik

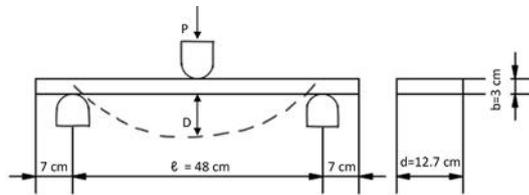
Perhitungan tegangan tarik, regangan tarik, dan modulus elastisitas menggunakan persamaan:

$$\sigma = \frac{P}{A_0}, \quad \epsilon = \frac{L-L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0}, \quad E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (1)$$

2.9. Uji Lentur

Dengan standar ASTM D 790-03 yang menggunakan metode pengujian *three-point bending* yang memiliki jenis tumpuan berupa tumpuan jepit. Spesimen akan mengalami tegangan tekanan pada bagian atas dan tegangan tarik

kebawah pada bagian bawah. Hasil akan didapatkan sebelum terjadinya patahan pada spesimen. Spesimen uji lentur dibuat sesuai dengan ASTM D 790-03 seperti yang di tunjukan pada Gambar 2



Gambar 2. Spesimen Uji Lentur

Tegangan lentur, regangan lentur, dan modulus elastisitas lentur i dapat dihitung dengan persamaan:

$$\sigma_b = \frac{3P\ell}{2bd^2}, E = \frac{\ell^3 m}{4bd^3}, r = \frac{6Dd}{\ell^2} \quad (2)$$

2.10. Pengamatan Permukaan Patah



Gambar 3. Pengamatan permukaan patah

Pada gambar 3 (A) *overload*, yaitu putusnya serat yang diakibatkan oleh batas kekuatan serat dan ikatan serat dan matriks. (B) *Pullout* yang disebabkan oleh ikatan serat dan matriks yang tidak kuat sehingga lepasnya serat dengan matriks. (C) *delamination* disebabkan karena tingginya tegangan *interlaminar*. (D) *matriks flow* yang merupakan berlebihan matriks yang menyebabkan terjadinya pergeseran alur pada matriks.

3. Metode Penelitian

3.1. Alat-alat Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan alat yaitu:

1. Mesin Uji Tarik
2. Mesin Uji Lentur
3. Mikroskop Optik
4. Cetakan Kaca
5. Oven
6. Timbangan Digital

3.2. Bahan-bahan Penelitian

1. Serat Daun Praksok
2. Poliester Yukalac BTQN-EX 157
3. Hardener Metil Etil Ketn Peroksida (MEKPO)
4. Air Laut
5. Gliserin

3.3. Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan serat daun praksok yang didapatkan dengan metode *water*

retting dimana daun pohon praksok yang diambil adalah nomor urut 2, 3, dan 4 dari bawah yang lalu direndam dalam air keran selama 30 hari dengan mengganti air setiap 7 hari. Lalu daun yang sudah direndam kemudian disikat agar serat terpisah. Lalu serat yang didapat dicuci menggunakan air suling dan dikeringkan tanpa dikenakan sinar matahari langsung. Setelah kering serat dipotong sepanjang 30mm dan perlakuan terhadap serat bisa dimulai yaitu merendam serat dalam air laut selama 2, 4, 6, dan 8 jam. Setelah selesai perlakuan serat dikeringkan dan pencetakan dimulai

Pencetakan dimulai dengan mengoleskan gliserin pada cetakan kaca agar tidak lengket, lalu cetakan dibentuk dengan dimensi 150x100x3 mm untuk uji lentur dan 250x150x3 mm untuk uji tarik. Setelah itu poliester dicampurkan dengan katalis dimana katalis yang dicampurkan sebesar 1% dari volume poliester. tuangkan sedikit polister kedalam cetakan dan masukan serat dengan rapi, lalu tuangkan seluruh poliester hingga serat terendam sepenuhnya. Tutup cetakan dan beri beban sebesar 20kg dan tunggu 24 jam. Ssetelah 24 jam komposit diangkat dan dipotong sesuai spesimen uji tarik dan lentur.

Untuk pengujian tarik spesimen uji tarik dipasang pada mesin uji tarik dan seluruh instrumen pengukur dikalibrasi ulang. Pengujian dimulai dan data yang berupa beban diambil setiap pertambahan panjang 0,1mm.

Sementara untuk pengujian lentur spesimen dipasang di alat uji lentur dan seluruh alat pengukur dikalibrasi ulang. Pengujian dimulai dan data yang berupa beban diambil pada pertambahan defleksi sebesar 0,1mm

4. Hasil Dan Pembahasan

Setelah dilakukannya pengujian, data hasil pengujian didapatkan yang berupa tabel dan grafik hasil uji tarik dan lentur.

4.1. Uji Tarik

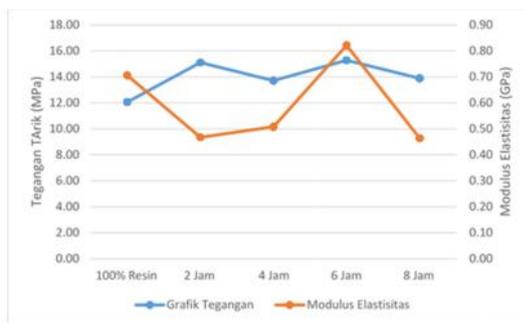
Data hasil uji tarik terdapat pada tabel dibawah ini:

Tabel 1. Data hasil uji tarik

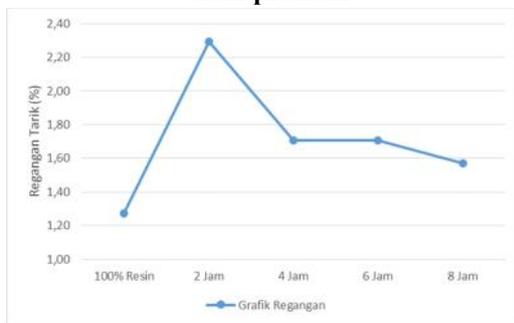
Penguujian Tarik Komposit			
Kontrol, 100% Resin			
NO	ϵ (%)	σ (Mpa)	E (Mpa)
Spesimen A	1,53	9,41	0,53
Spesimen D	1,47	11,11	0,21
Spesimen F	0,82	15,68	1,39
Rata-rata	1,27	12,06	0,71
Perendaman Selama 2 Jam			
NO	ϵ (%)	σ (Mpa)	E (Mpa)
Spesimen A	1,76	15,42	0,61
Spesimen D	2,29	16,46	0,62
Spesimen F	2,82	13,46	0,17
Rata-rata	2,29	15,11	0,47

Perendaman Selama 4 Jam			
NO	ϵ (%)	σ (Mpa)	E (Mpa)
Spesimen B	2,35	14,633	0,44
Spesimen D	1,29	14,112	0,79
Spesimen E	1,71	12,413	0,29
Rata-rata	1,71	13,72	0,51
Perendaman Selama 6 Jam			
NO	ϵ (%)	σ (Mpa)	E (Mpa)
Spesimen A	2,12	13,720	0,78
Spesimen E	0,88	11,891	1,18
Spesimen F	2,12	20,253	0,80
Rata-rata	1,71	15,29	0,82
Perendaman Selama 8 Jam			
NO	ϵ (%)	σ (Mpa)	E (Mpa)
Spesimen B	1,88	13,328	0,21
Spesimen C	1,24	11,891	0,73
Spesimen E	1,59	16,464	0,46
Rata-rata	1,57	13,89	0,46

Berdasarkan data yang disajikan dalam Tabel 1, didapatkan grafik tegangan tarik dan modulus elastisitas seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 dan regangan lentur ditunjukkan pada gambar 5



Gambar 4. Grafik tegangan tarik dan modulus elatisitas komposit poliester berpenguat serat daun praksok



Gambar 5. Grafik regangan tarik komposit poliester berpenguat serat daun praksok

Gambar 4 menunjukkan hubungan tegangan tarik dan modulus elastisitas terhadap waktu perendaman serat dalam air laut. Grafik menunjukkan bahwa tegangan rata-rata tertinggi terdapat pada perendaman 6 jam sebesar 15,29MPa dengan modulus elastisitas sebesar 0,82GPa. lalu diikuti dengan perendaman selama 2 jam dengan tegangan sebesar 15,11MPa dan modulus elastisitas sebesar 0,47GPa. Spesimen 4 jam memiliki tegangan sebesar 19,72MPa dan spesimen 8 jam memiliki tegangan terkecil sebesar 13,89MPa.

Gambar 5 menunjukkan regangan rata-rata dimana regangan terbesar terjadi pada spesimen 2

jam sebesar 2,29% diikuti dengan spesimen 4 jam dan 6 jam sebesar 1,71%. Selanjutnya spesimen 8 jam mengalami peregangan sebesar 1,57%

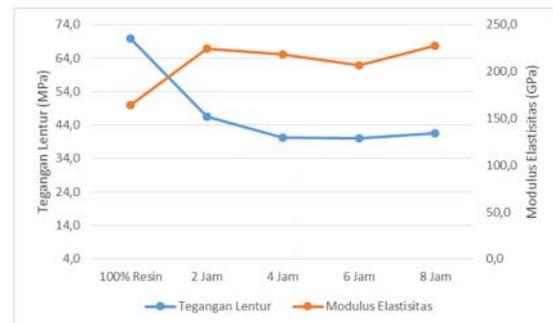
4.2. Uji Lentur

Data hasil uji lentur terdapat pada tabel dibawah ini:

Tabel 2 Data hasil uji lentur

Penguujian Bending Komposit Kontrol, 100% Resin			
NO	σ L(Mpa)	ϵ L (%)	EL(Mpa)
Spesimen A	91,487	5,47	1,673
Spesimen B	42,688	2,73	1,561
Spesimen C	75,005	4,45	1,684
Rata-rata	69,727	4,219	1,639
Perendaman Selama 2 Jam			
NO	σ L(Mpa)	ϵ L (%)	EL(Mpa)
Spesimen A	44,663	2,27	1,971
Spesimen C	45,373	2,03	2,234
Spesimen D	49,231	1,95	2,521
Rata-rata	46,423	2,083	2,242
Perendaman Selama 4 Jam			
NO	σ L(Mpa)	ϵ L (%)	EL(Mpa)
Spesimen A	41,793	1,72	2,43
Spesimen B	37,441	1,88	2,00
Spesimen C	41,330	1,95	2,12
Rata-rata	40,188	1,849	2,181
Perendaman Selama 6 Jam			
NO	σ L(Mpa)	ϵ L (%)	EL(Mpa)
Spesimen C	39,231	2,11	1,860
Spesimen I	41,484	2,03	2,042
Spesimen H	39,570	1,72	2,302
Rata-rata	40,095	1,953	2,068
Perendaman Selama 8 Jam			
NO	σ L(Mpa)	ϵ L (%)	EL(Mpa)
Spesimen A	37,533	1,88	2,002
Spesimen D	40,836	1,56	2,613
Spesimen G	46,423	2,11	2,201
Rata-rata	41,597	1,849	2,272

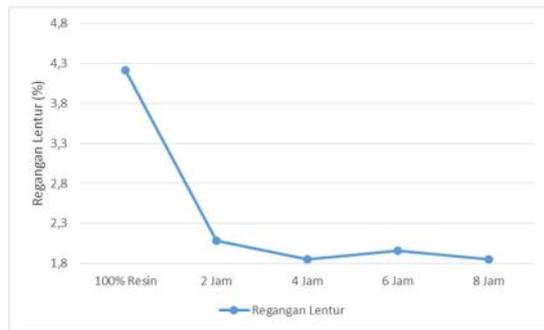
Dari datayang disajikan pada Tabel 2, didapatkan grafik tegangan lentur dan modulus elastisitas yang ditunjukkan pada Gambar 6 dan regangan lentur yang ditunjukkan pada Gambar 7



Gambar 6. Grafik tegangan lentur dengan modulus elastisitas komposit poliester berpenguat serat daun praksok

Gambar 6 menunjukkan grafik rata-rata tegangan lentur dan modulus elastisitas komposit poliester berpenguat serat daunt praksok. Spesimen 2 jam memiliki tegangan tertinggi sebesar 46,42MPa dengan modulus elastisitas sebesar 2,24GPa. Spesimen 4 jam memiliki tegangan sebesar 40,18MPa dengan modulus elastisitas sebesar 2,18GPa. Speimen 6 jam memiliki tegangan sebesar 40,95MPa. Ini merupakan tegangan

terendah. Hal ini dikarenakan terjadi peningkatan untuk spesimen perendaman 8 jam menjadi 41,59MPa

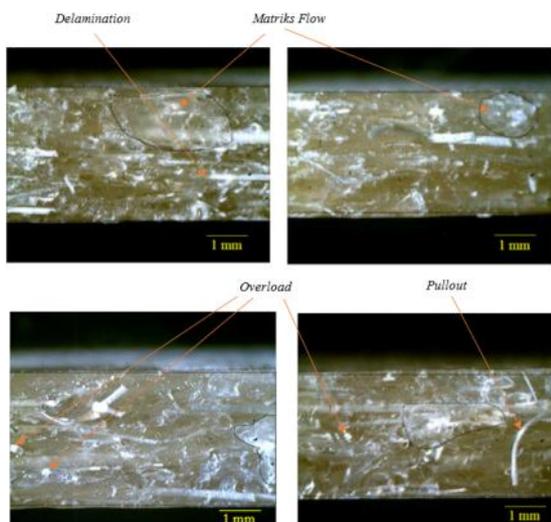


Gambar 7. Grafik regangan lentur komposit poliester berpenguat serat daun praksok

Gambar 7 menunjukkan rata-rata regangan lentur. Spesimen 2 jam mengalami pereganagan sebesar 2,08%. Spesimen 4 jam mengalami regangan sebesar 1,84%. Untuk spesimen 6 jam mengalami regangan sebesar 1,95% dan terakhir spesimen 8 jam mengalami regangan sebesar 1,84%

4.3. Pengamatan Makro

Dengan menggunakan mikroskop makro, didapatkan foto permukaan patah dan bisa di analisa



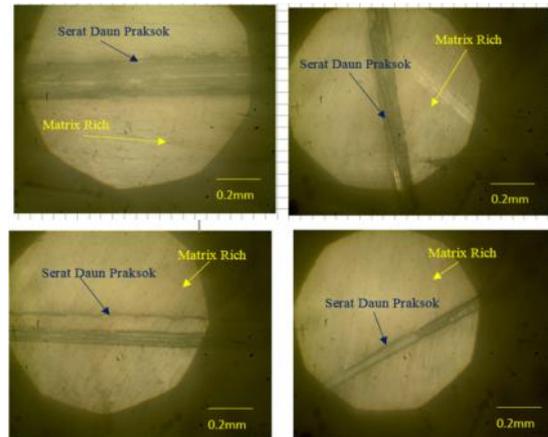
Gambar 8 Hasil foto makro komposit poliester berpenguat serat daun praksok

Terlihat pada gambar 8 bahwa terdapat patahan jenis *matrix flow* sebesar 18,64% dari luas area permukaan patah. Ini ditemani dengan *delamination* dan *overload*. Gambar 10 menunjukkan bahwa terdapat patahan yang disebabkan oleh *matrix flow* sebesar 6,4% dari total luas permukaan patahan. Untuk spesimen dengan perlakuan perendaman selama 6 jam ditunjukkan dengan gambar 11, dimana terdapat *matrix flow* sebesar 4,37% dari total luas permukaan patahan. Ditemani dengan banyaknya patahan *overload* dan spesimen dengan perendaman 6 jam ini

menghasilkan tegangan tertinggi. Untuk perendaman selama 8 jam ditunjukkan oleh gambar 12 dimana terdapat patahan oleh *matrix flow* sebesar 10,33%

4.4. Pengamatan Mikro

Dengan menggunakan mikroskop mikro, didapatkan foto mikro dan analisa ikatan serat dan matriks bisa di lakukan



Gambar 9. Hasil foto mikro komposit poliester berpenguat serat daun praksok

Terlihat pada gambar 9 bahwa ikatan matriks dengan serat terjadi secara sempurna. Untuk spesimen 6 jam ikatan terjadi lebih baik dibandingkan spesimen lainnya

5. Kesimpulan

Maka kesimpulan yang dapat ditarik dari hasil pembahasan diatas adalah:

1. Pembentukan komposit poliester berpenguat serat daun praksok terbentuk dengan baik. Ikatan serat dengan matriks terbentuk bagus dengan porositas terkecil sebesar 0,19% pada perendaman 2 jam
2. Pengaruh air laut terhadap kekuatan tarik dan lentur komposit poliester berpenguat daun praksok adalah terjadinya peningkatan tertinggi pada tegangan tarik pada spesimen 6 jam dan regangan tertinggi pada spesimen 2 jam jika dibandingkan kekuatan tarik dan regangan poliester saja

Daftar Pustaka

- [1] Callister, W. D., Rethwisch, D. G., 2011, *Materials science and engineering (Vol. 5)*, John wiley & sons NY.
- [2] Campbell, F. C. 2010, *Structural composite materials*. ASM international.
- [3] Hayashi, I., Mori, K., Kaneko, S., Mogi, T., 1978, *Effect of Fiber Orientation on Mechanical Properties of Short Fiber Reinforced Composite Materials*. 1(5), 287–292.
- [4] Biyantoro, D., & Basuki, K. T., 2007, *Pengukuran Dan Analisis Unsur-Unsur*

**Pada Air Laut Muria Untuk Air Primer
Pwr.**



Ida Bagus Kresnasandi
Menyelesaikan pendidikan S1 di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bali. Dari tahun 2016 hingga 2020 dengan skripsi yang berjudul “Kekuatan Tarik Dan Lentur Komposit Poliester Berpenguat Serat *Cordyline australis* (Daun Praksok) Dengan Perlakuan Air Laut”.

Topik yang diminati adalah topik yang berhubungan dengan teknik mesin, rekayasa manufaktur, dan material

Pengaruh Rasio Air Dalam Proses Pembuatan Biogas Dengan Menggunakan Limbah Sorgum

Moh Fitrah Giffari, I Gusti Bagus Wijaya Kusuma dan
Hendra Wijaksana

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Sorgum adalah tanaman pangan seperti halnya gandum, padi, dan jagung. Pengembangan sorgum di Indonesia masih termasuk dalam posisi minor jika dibandingkan dengan tanaman seperti padi dan jagung sehingga pemerintah masih mengkaji manfaat sorgum dan strategi pengembangan sorgum di Indonesia. Batang sorgum mengandung 88,0% total padatan yang terdiri atas karbohidrat (selulosa dan hemiselulosa) 61,0% dan lignin 15%. Komponen selulosa dan hemiselulosa yang cukup tinggi ini berpotensi dapat didegradasi menjadi biogas. Penelitian dilakukan terhadap tekanan dan volume biogas yang dihasilkan dari batang sorgum berdasarkan perbedaan kadar air dan batang sorgum yaitu 80:20, 75:25, 70:30, dan 65:35. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada setiap rasio perbandingan antara kadar air dan sorgum, rasio 70:30 merupakan rasio terbaik dalam pembuatan biogas dengan menggunakan sorgum dengan besar tekanan maksimum yang dihasilkan yaitu 117348 Pa dengan volume 0,0815 m³.

Kata Kunci : Batang Sorgum, Kadar Air, Tekanan, Volume

Abstract

Sorghum is a food crop such as wheat, rice and corn. The development of sorghum in Indonesia is still in a minor position when compared to crops such as rice and corn so that the government is still reviewing the benefits of sorghum and sorghum development strategies in Indonesia. Sorghum stems contain 88.0% of total solids consisting of carbohydrates (cellulose and hemicellulose) 61.0% and lignin 15%. These high enough cellulose and hemicellulose components can potentially be degraded into biogas. This research was conducted on the pressure and volume of biogas produced from sorghum stems based on differences in water ratio and sorghum stems such as 80:20, 75:25, 70:30, and 65:35. Based on research that has been conducted on each ratio between the water ratio and sorghum, the 70:30 ratio has the highest pressure and volume in making biogas by using sorghum with the maximum pressure generated at 117348 Pa with a total volume of 1,5307 m³.

Keywords: Sorghum Stems, Water Ratio, Pressure, Volume

1. Pendahuluan

Sorgum merupakan tanaman pangan seperti halnya gandum, padi, dan jagung. Di Indonesia, Sorgum masih termasuk dalam posisi minor jika dibandingkan dengan tanaman seperti padi dan jagung sehingga pemerintah masih mengkaji manfaat sorgum dan strategi pengembangan sorgum di Indonesia.

Salah satu bentuk energi alternatif yang telah dikembangkan di Indonesia adalah biogas. Selain merupakan bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan, pengembangan biogas juga dapat mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi fosil, terutama bahan bakar minyak (BBM), disamping itu juga dapat meningkatkan keamanan pasokan energi nasional.

Jerami sorgum mengandung 88,0% total padatan yang terdiri atas karbohidrat (selulosa dan hemiselulosa) 61,0% dan lignin 15%. Komponen selulosa dan hemiselulosa yang cukup tinggi ini berpotensi dapat didegradasi menjadi biogas [1].

sorgum manis memiliki potensi menghasilkan biomassa kering 20-40 t / ha dan di atas 100 t / ha biomassa segar sehingga sorgum merupakan sumber selulosa dan hemiselulosa yang baik dan merupakan fitur penting yang diperlukan untuk menjadi bahan baku biomassa yang potensial [2]

Dalam penelitian ini, hal yang akan dianalisis yaitu pengaruh rasio air dalam proses pembentukan tekanan dan volume biogas yang dihasilkan dengan menggunakan batang sorgum. Seperti pada penelitian dengan menggunakan perbandingan kadar air dan eceng gondok diperoleh perbedaan volume biogas yang dihasilkan untuk perbandingan eceng gondok dan air 1:2,1:3,1:4, dan 1:5 berturut-turut yaitu 23.300, 19.150,16.230, dan 14.930 mL sehingga diharapkan pada penelitian ini akan terdapat variasi dari segi tekanan dan volume yang dihasilkan oleh setiap perbandingan rasio antara batang sorgum dan air [3].

Pada penelitian ini, batasan masalah meliputi :

1. Temperatur ruang dalam keadaan STP
2. *Dygester* bekerja tanpa udara luar
3. Hanya membahas kenaikan volume dan tekanan biogas yang dihasilkan per hari dari masing-masing perbandingan kadar antara limbah sorgum dan air

2. Dasar Teori.

Kandungan gula yang tinggi pada batang tanaman sorgum manis layaknya tebu memiliki potensi untuk dikelola . Bentuk batang tanaman sorgum silinder dengan diameter antara 0.5 cm hingga 5.0 cm dan tinggi batang berkisar antara 0.5 hingga 4.0 m, bergantung pada jenisnya.

Kandungan gula pada saat biji matang berkisar sekitar 10-25%. Kandungan gula pada tanaman tersebut yang dapat terfermentasi berkisar 15-23%. Kandungan gula tersebut terdiri atas sukrosa 70%, glukosa 20%, dan fruktosa 10%.[4]

Produksi biji sorgum menghasilkan batang sorgum sebagai limbah padat yang dapat digunakan sebagai bahan baku untuk produksi biogas. Tanaman sorgum manis merupakan tanaman yang menghasilkan biji sorgum dan biomasa berupa batang (batang sorgum) dan daun. Komponen batang sorgum cukup tinggi dibandingkan hasil utama biji sorgum Rendemen batang sorgum sebanyak 1,3 kali biji sorgum [1].

Jika rata-rata produksi biji sorgum 5 ton/Ha, maka akan dihasilkan batang sorgu sebanyak 6,5 ton/Ha. Batang sorgum mengandung 88,0% total padatan yang terdiri atas karbohidrat (selulosa dan hemiselulosa) 61,0% dan lignin 15%. Komponen selulosa dan hemiselulosa yang cukup tinggi ini berpotensi dapat didegradasi menjadi biogas. Pemanfaatan batang sorgum selama ini umumnya digunakan sebagai pakan ternak dan bahan bakar [1].

Pembuatan biogas pada prinsipnya memanfaatkan proses dekomposisi bahan organik secara anaerob yang hasilnya akan berupa metana dan karbondioksida. Proses tersebut terjadi dengan bantuan sejumlah mikroorganisme dengan temperatur berkisar 30-55 ° C.

Proses Pembentukan biogas terdapat tiga tahap dalam memanfaatkan mikroorganisme pembentuknya, yaitu tahap hidrolisis, tahap asidogenesis, dan tahap metanogenesis [4]

Keberadaan lebih banyak air mendorong terjadinya reaksi hidrolisis yang menguraikan senyawa kompleks menjadi senyawa yang sederhana untuk dikonsumsi mikroorganisme penghasil metana sehingga kurangnya kadar air akan menyebabkan pH sistem menjadi asam sehingga menjadi tidak cocok untuk aktivitas bakteri methanogen sehingga lingkungan pH asam tersebut walaupun mendorong bakteri asidogen bekerja optimal untuk menghasilkan senyawa asam tapi tidak dapat dilanjutkan menjadi metana. Sehingga kadar air sangat penting dalam proses pembentukan biogas karena berpengaruh pada setiap tahap pembentukan biogas [5].

3. Metode Penelitian

Pengujian dan penelitian kali ini alat dan bahan yang digunakan yaitu:

1. Jerigen dengan volume 25 Liter sebanyak 4 buah sebagai digester
2. Limbah sorgum dengan berat 100 kg sebagai bahan utama pembuatan sorgum
3. EM4 sebanyak 2 L sebagai biokatalisator
4. Air dengan volume 40 liter sebagai bahan tambahan pembuatan biogas

5. Pelampung sebagai tempat penampung biogas
6. Flowmeter sebagai alat pengukur laju aliran volume biogas
7. Pipa plastik berdiameter 0.5 cm sebagai instrumen bantu tempat biogas mengalir

Langkah penelitian yang dilakukan pada proses pengambilan data pengujian adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan Limbah Sorgum yang telah selesai digunakan dalam proses ekstraksi nira
2. Limbah batang sorgum kemudian dicacah
3. Melakukan pencampuran limbah batang sorgum dan air dengan perbandingan 80:20, 75:35, 70:30, dan 65:35 dengan penambahan EM4 sebanyak 500 mL dari komponen substrat
4. Melakukan instalasi pemasangan alat seperti pada gambar dibawah ini



Gambar 1 Ilustrasi Instalasi Alat

5. Menutup rapat masing-masing tangki pembuatan biogas dan memastikan agar udara tidak masuk kedalam tangki sehingga tidak mengganggu proses fermentasi anaerob pembentukan biogas.
6. Proses pembentukan biogas dengan selang waktu beberapa hari
7. Proses pemindahan Biogas dalam tabung penyimpanan biogas
8. Membandingkan hasil atau kinerja biogas berupa tekanan dan volume yang dihasilkan pada masing-masing hasil fermentasi tiap tangki

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Data

Tekanan merupakan satu dari berbagai macam faktor yang menentukan besaran biogas yang dihasilkan. Data yang telah diperoleh dalam 20 hari penelitian fermentasi batang sorgum adalah sebagai berikut:

Tabel 1 Tekanan Biogas yang dihasilkan oleh Fermentasi Batang Sorgum

Hari	Tekanan Biogas (Pa) dari berbagai perlakuan			
	80:20	75:25	70:30	65:35
1	101325	101325	101325	101325
2	102022	102022	102022	102022

3	102022	102718	103415	102022
4	103415	102718	104112	102718
5	103415	104112	104808	103415
6	104112	105505	106202	104808
7	106202	105505	107595	104808
8	106898	106202	108291	105505
9	107595	107595	108988	106898
10	108291	108988	108988	108291
11	108988	109685	109685	108291
12	108988	109685	110381	108988
13	109685	109685	110381	108988
14	110381	110381	111078	109685
15	111775	111775	113168	111078
16	111775	113168	114561	111775
17	113168	114561	115955	111775
18	113865	114561	115955	113168
19	113865	114561	116651	113168
20	114561	115955	117348	113865
21	113865	115258	116651	113168
22	113865	114561	115955	112471

Tabel 2 Produksi Volume Biogas yang dihasilkan perhari oleh Fermentasi Batang Sorgum

Hari	Produksi Volume Biogas (m ³) dari berbagai perlakuan			
	80:20	75:25	70:30	65:35
1	0,0726	0,0730	0,0739	0,0717
2	0,0721	0,0730	0,0735	0,0713
3	0,0717	0,0726	0,0730	0,0708
4	0,0726	0,0730	0,0735	0,0713
5	0,0726	0,0730	0,0735	0,0717
6	0,0726	0,0735	0,0744	0,0717
7	0,0735	0,0744	0,0744	0,0726
8	0,0744	0,0744	0,0748	0,0735
9	0,0753	0,0753	0,0758	0,0748
10	0,0758	0,0758	0,0763	0,0753
11	0,0758	0,0763	0,0763	0,0753
12	0,0758	0,0763	0,0768	0,0758
13	0,0763	0,0768	0,0768	0,0763
14	0,0773	0,0773	0,0778	0,0763

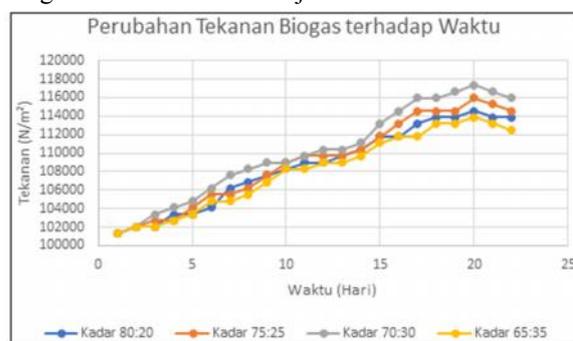
15	0,0783	0,0778	0,0788	0,0768
16	0,0788	0,0783	0,0793	0,0773
17	0,0788	0,0798	0,0793	0,0783
18	0,0798	0,0804	0,0804	0,0793
19	0,0809	0,0804	0,0809	0,0798
20	0,0809	0,0814	0,0815	0,0804
21	0,0804	0,0812	0,0814	0,0801
22	0,0801	0,0808	0,0812	0,0795

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh, terdapat relasi antara waktu (hari) dan perubahan pada biogas yang dihasilkan, semakin hari semakin meningkat tekanan dan volume biogas yang dihasilkan. Berdasarkan data tersebut, terdapat pengaruh antara rasio air dan sorgum dengan laju pembentukan tekanan dan volume biogas yang dihasilkan dimana rasio 70:30 menunjukkan perubahan tekanan dan volume yang terbaik serta dalam bentuk grafik akan terlihat sebagai berikut.

4.2. Analisis Data

4.2.1 Perubahan Tekanan Biogas

Pada gambar 2 terlihat bahwa terjadi peningkatan tekanan pada biogas setiap harinya hingga hari ke-20. Perubahan tekanan terlihat pada hari kedua dari tiap sampel dimana perubahan tekanan masing-masing sampel sama yaitu 101325 Pa menjadi 102022 Pa. Perbedaan perubahan tekanan terlihat pada hari ketiga dimana untuk wadah dengan kadar 75:25 tekanan biogas dari 102022 Pa menjadi 102718 Pa serta perubahan signifikan terjadi pada wadah dengan kadar 70:30 dari 102022 Pa menjadi 103415 Pa sedangkan untuk kadar 80:20 dan 65:25 tetap stagnan dengan tekanan 102022 Pa dan mulai terjadi perubahan tekanan pada hari keempat yaitu pada kadar 80:20 tekanan biogas dari 102022 Pa menjadi 103415 Pa dan pada kadar 65:35 tekanan biogas dari 102022 Pa menjadi 102718 Pa



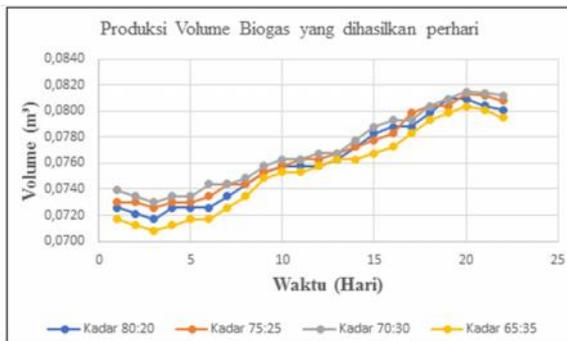
Gambar 2 Grafik Perubahan Tekanan Biogas yang dihasilkan

Pada gambar 2 terlihat ada saat dimana tekanan stagnan misalnya pada hari kedua ke hari ketiga pada rasio sorgum dan air 80:20. Degradasi batang sorgum terkendala oleh struktur lignoselulosa yang sulit didegradasi. Senyawa tersebut membentuk struktur

lignin yang berfungsi memperkuat tanaman sehingga akan sangat sulit bagi bakteri untuk mengurai kandungan gula yang ada dalam batang sorgum [1]. Oleh sebab itu, persentasi peningkatan tekanan sangat rendah pada wadah perbandingan sorgum dan kadar 80:20 , 75:25, 70:30, dan 65:35 yaitu secara berurutan adalah 12,37%, 13,06%, 14,43%, dan 11,00%.

4.2.2 Perubahan Volume Biogas

Pada penelitian ini, volume biogas yang dihasilkan berdasarkan data yaitu 0,035 - 0,078 m³. Pada gambar 3 terlihat bahwa grafik volume biogas yang dihasilkan perhari terus meningkat meskipun pada tiga hari pertama mengalami penurunan produksi biogas pada 3 hari pertama lebih sedikit disebabkan oleh mikroba berada pada fase adaptasi. Pertumbuhan mikroorganismenya relatif sedikit pada fase ini diakibatkan oleh sel yang masih berada dalam tahap menyesuaikan diri dengan media fermentasi sehingga produksi biogas perhari menurun pada tiga hari pertama[2].



Gambar 3 Grafik Produksi Volume Biogas yang dihasilkan perhari

Persentasi volume yang dihasilkan pada masing-masing tangki sorgum dengan kada 80:20, 75:25, 70:30, dan 65:35 secara berurutan adalah 19,88% , 19,85% , 19,71%, dan 19,92 meskipun dari segi persentasi volume yang dihasilkan sorgum dengan kadar 65:35 memiliki persentasi tertinggi tetapi rasio perbandingan sorgum dan kadar air 70:30 menghasilkan jumlah volume biogas terbanyak diantara tangki lain yaitu sebesar 1,5307 m³.

Jumlah Volume biogas yang dihasilkan lebih baik dibandingkan dengan penelitian yang menggunakan perbandingan kadar air dan eceng gondok dengan volume maksimal biogas yang dihasilkan untuk perbandingan eceng gondok dan air yaitu 0,023 m³[3]. Akan tetapi, jika dibandingkan dengan penelitian sorgum sebelumnya yang telah melakukan perlakuan awal sorgum dengan metode co-digestion dengan menambahkan limbah sludge menghasilkan volume sebesar 314-358 L/kgV [1]. Hal tersebut terjadi karena pada penelitian ini tidak dilakukan metode co-digestion dan hanya berfokus pada biogas yang dihasilkan murni dari sorgum.

5. Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada setiap rasio perbandingan antara kadar air dan sorgum adalah bahwa rasio 70:30 merupakan rasio yang menghasilkan tekanan dan volume tertinggi dalam pembuatan biogas dengan menggunakan sorgum dengan besar tekanan maksimum yang dihasilkan yaitu 117348 Pa dengan jumlah volume 1,5307 m³. Hal ini terjadi karena pada rasio tersebut merupakan komposisi yang tepat bagi bakteri sehingga pada tahapan metanogenesis bakteri dapat bekerja dengan baik dalam menghasilkan biogas.

Daftar Pustaka

- [1] Purwoko et al.,2016, *Perlakuan Awal Jerami Sorgum Secara Biologis dan Co-Digestion Dengan Sludge Pada Produksi Biogas. Teknologi Industri Pertanian*, 26(2), pp. 134–142.
- [2] Prakasham et al.,2013, *Sorghum biomass: a novel renewable carbon source for industrial bioproducts*, Research Gate, 5(2) pp.159-174.
- [3] Ossi P, R., Ahmad, A. and Muria, S. R., 2015, *Pengaruh Perbandingan Eceng Gondok dan Air Terhadap Kestabilan Sistem Pada Produksi Biogas Secara Fermentasi Anaerob Tahap Metanogenesis*, Universitas Riau, 2(2), pp. 1–9.
- [4] Sari, Indah Purnama, 2017, *Aplikasi Penambahan Green Phoskko-7 Pada Kotoran Sapi Dan Air Rawa Terhadap Pembuatan Biogas*, Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya.
- [5] Zuliyana, Wirawan, S. K. et al., 2015, *Pengaruh Kadar Air Umpan dan Rasio C/N pada Produksi Biogas dari Sampah Organik Pasar*, Jurnal Rekayasa Proses Universitas Gadjah Mada, 9(1), pp. 22–27.

	<p>Moh Fitrah Giffari menyelesaikan studi program sarjana di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2016 sampai 2020.</p>
<p>Bidang penelitian yang dilakukan adalah mengenai Pengaruh Rasio Air Dalam Proses Pembuatan Biogas Dengan Menggunakan Limbah Sorgum</p>	

Pengaruh Arus Terhadap Sifat Mekanis Dan Karakteristik Pada Hasil Pengelasan *Spot Welding* Material Logam Berbeda (*Dissimilar Metal*)

Dewi Maya Puspitasari, I Nyoman Gde Antara, dan I Nyoman Budiarsa
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Dalam proses pengelasan titik yaitu proses penyambungan dua plat logam atau lebih, terdapat banyak faktor yang harus diperhatikan. Arus pengelasan, tahanan listrik dan waktu pengelasan merupakan faktor utama pengelasan titik. Penelitian dengan judul “Pengaruh Variasi Arus terhadap Sifat Mekanis dan Karakteristik pada hasil Pengelasan Spot Welding Material Logam Berbeda (Dissimilar Metal)”, memiliki rumusan masalah bagaimana efek parameter perubahan arus terhadap sifat mekanis dan bentuk fisik pada pengelasan Spot Welding material logam berbeda (Dissimilar Metal). Dengan tujuan untuk mengetahui efek parameter perubahan arus dan menginvestigasi bentuk fisik dari pengelasan Spot Welding Dissimilar Metal dengan melakukan uji mikro. Metode pada penelitian ini menggunakan teknik sambungan las titik (Spot Welding), melalui Uji Tarik, Uji Kekerasan, dan Uji Mikro untuk pengaruh variasi arus terhadap sifat mekanis dan karakteristik pada pengelasan titik dua lembaran (Double Sheet). Hasil pada pengujian Tarik pelat logam induk baja karbon rendah SS 400 dengan tegangan 1675 Mpa dan stainless steel AISI 304 dengan tegangan 2125 Mpa, pelat weld joint arus 1,37 V dengan nilai tegangan maksimum 335 Mpa – regangan 1,2. Hasil uji Vickers yaitu nilai kekerasan paling tinggi terdapat pada daerah Las pelat arus 1,37 V dengan HVN rata-rata 189,292 Kg/mm².

Kata Kunci : Yield Stress, Dissimilar Metal, Spot Welding , nilai kekerasan.

Abstract

In the process of spot welding, that is process of joining two or more metal plates, there are many factors that must be considered. Welding current, electrical resistivity and the welding time is a major factor for spot welding. The study entitled "Effect of Current Variations and Mechanical Properties of Welding Characteristics on the Spot Welding of Different Metal Material (Dissimilar Metal)", Have a problem statement of how the effects of parameter changes in current with respect to the mechanical and physical form at the welding Spot Welding material dissimilar metals (Dissimilar Metal). With the aim to determine the effect of changes in the flow parameters and investigate the physical form of the welding Spot Welding Dissimilar Metal to test the micro. The method in this study using the technique of spot welding connection (Spot Welding), through Tensile Test, Hardness Test, and Test Micro's current variation effect on the mechanical properties and characteristics of spot welding of two sheets (Double Sheet). The results of the testing of the base metal plate Pull low carbon steel SS 400 with a voltage of 1675 MPa and stainless steel AISI 304 with a voltage of 2125 MPa, the current joint weld plates of 1.37 V with a maximum value of 335 MPa stress - strain 1.2. The test results Vickers hardness value is the highest found in the area Las plate flow HVN 1.37 V with an average of 189.292 Kg / mm².

Keywords: Yield Stress, Dissimilar Metal, Spot Welding, hardness.

1. Pendahuluan

Dalam proses pengelasan titik yaitu proses penyambungan dua plat logam atau lebih, terdapat banyak faktor yang harus diperhatikan. Arus pengelasan, tahanan listrik dan waktu pengelasan merupakan faktor utama pengelasan titik. [1]. Faktor-faktor tersebut dapat mempengaruhi kualitas sambungan las yang terbentuk.

Namun tidak menutup kemungkinan ada faktor-faktor lain yang juga dapat mempengaruhi kualitas hasil pengelasan, salah satunya adalah siklus pengelasan. Dalam siklus pengelasan terdiri dari tiga siklus yang salah satunya adalah holding time. Holding time adalah waktu dimana gaya tekan tetap dipertahankan setelah arus berhenti supaya logam las membeku dan menghasilkan sambungan yang kuat.

Spot welding (las titik) merupakan salah satu cara pengelasan resistensi listrik, dimana dua plat logam atau lebih dijepit diantara dua elektroda yang terbuat dari paduan tembaga. Kemudian arus yang kuat dialirkan melalui elektroda, sehingga titik diantara plat logam dibawah elektroda yang saling bersinggungan menjadi panas akibat resistensi listrik dan mengakibatkan pada bagian ke dua plat ini mencair dan kemudian menyatu. [2]

Penelitian-penelitian yang sudah dilakukan tersebut menggunakan metode resistance spot welding, sedangkan pada metode spot TIG welding dan mengabungkan baja ringan dan baja tahan karat belum banyak mendapatkan perhatian. Bentuk dan ukuran manik las yang dihasilkan dengan metode spot TIG welding akan menentukan kualitas dari sambungan material tak sejenis tersebut, sedangkan penggabungan baja ringan dengan baja tahan

karat tidak hanya berpengaruh mengurangi berat badan mobil secara nyata serta bodi kendaraan menjadi tahan korosi tetapi juga meningkatkan crashworthiness. [3]

Penelitian ini ditujukan untuk mengetahui variasi parameter pengelasan arus terhadap karakteristik dan sifat mekanis pada hasil sambungan las *spot welding* logam berbeda (*Dissimilar Metal*).

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

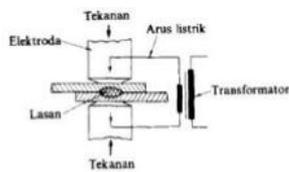
1. Bagaimana efek parameter perubahan arus terhadap sifat mekanis pada pengelasan *spot welding* material logam berbeda (*dissimilar metal*)?
2. Bagaimana efek parameter perubahan arus terhadap bentuk fisik pada pengelasan *spot welding* material logam berbeda (*dissimilar metal*)?

Beberapa batasan ditetapkan dalam penelitian ini meliputi:

1. Proses pengelasan menggunakan mesin las bermerk Krishbow DN-5.
2. Sampel yang digunakan adalah baja karbon rendah SS 400 dan baja tahan karat AISI 304
3. Arus pengelasan yang digunakan adalah 1.26 volt, 1.37 volt, 1.48 volt.
4. Pengujian yang dilakukan adalah uji tarik, uji kekerasan vickers, uji tarik geser.

2. Dasar Teori

Spot welding adalah proses pengelasan dengan dua buah pelat yang dijepit pada tempat sambungan menggunakan dua buah elektroda yang terbuat dari paduan tembaga dan kemudian dialiri arus listrik yang besar dalam waktu singkat. Dikarenakan aliran listrik antara kedua elektroda tersebut harus melewati tempat sambungan logam yang dijepit maka pada tempat jepitan timbul panas yang menyebabkan logam di tempat tersebut mencair dan tersambung. [2]



Gambar 1 Skema Las Titik

Pada spot welding terdapat tiga faktor yang mempengaruhi besarnya energi panas untuk mencairkan logam. Ketiga faktor tersebut dapat ditinjau dari rumus total heat input yang dihasilkan, yaitu. [1]

$$H = I^2 \cdot R \cdot T \quad (1)$$

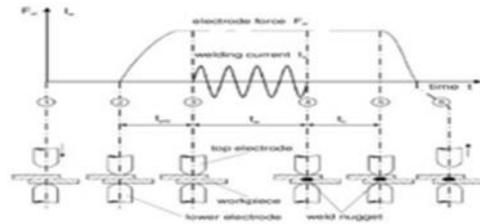
Dimana:

H : Masukan panas (heat input) (Joule)

I : Arus listrik (Ampere)

R : Tahanan dalam material (ohm)

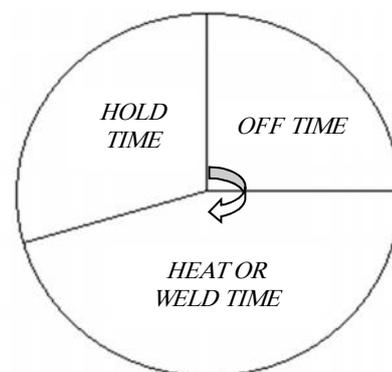
T : Waktu pengelasan (detik)



Gambar 2. Sequence Timing diagram

Dalam pengelasan AC waktu diukur dalam siklus. Peralatan frekuensi tengah (MFDC) mengukur waktu dalam milidetik. Pengukuran waktu ini berlaku untuk fungsi pemerasan, pengelasan dan tahan. Segmen saat ini diukur sebagai panas pada banyak perangkat AC tetapi banyak perangkat yang lebih baru mengukur arus dalam ampere. Pengontrol MFDC mengukur dalam ampere. Pengontrol tidak mengatur kekuatan pada sebagian besar sistem. Ini memulai sinyal ke katup atau solenoid yang memulai penerapan gaya oleh silinder atau servo. Dalam beberapa kasus, pengontrol mendapat umpan balik bahwa gaya telah mencapai nilai yang telah ditentukan sebelum memungkinkan arus las dimulai.

Fungsi penahanan adalah untuk memastikan bahwa nugget las membeku di bawah gaya. Jika gaya dilepaskan terlalu cepat, void dan retak atau tidak ada las akan terjadi. Dalam beberapa kasus gaya tambahan diterapkan untuk menempa bagian selama fungsi penahanan untuk memperkuat sambungan las. Diagram tempa ditunjukkan di atas. Ada banyak opsi untuk PCT. Kontrol lasan mampu melakukan pemanasan awal, pemanasan ulang, tempering, penempaan, pengulangan, pengulangan dan banyak fungsi lainnya, pemantauan, penyimpanan data, dan kemampuan umpan balik.



Gambar 3. Periode Pengelasan Titik

1. Waktu penekanan (*sequence time*)
Waktu dimana pengelasan dimulai dengan memberikan gaya / penekanan terhadap lembaran logam yang akan disambung, namun arus listrik belum dialirkan,
2. Waktu pengelasan (*weld time*)
Setelah diberi tekanan, arus listrik dialirkan dengan waktu yang telah diatur dan relative singkat. Pada proses ini, daerah lembaran logam yang kontak dengan elektroda akan menjadi panas sehingga pada daerah tersebut logam akan mencair.
3. Waktu penahanan (*hold time*)
Waktu setelah aliran arus ditiadakan, tetapi gaya penekanan dari sepasang elektroda masih tetap diberikan. Selama penahanan berlangsung, daerah logam yang kondisinya cair akhirnya membeku dan menyatu, akhirnya membentuk *nugget*.
4. Waktu selesai (*off time*)
Waktu dimana gaya penekanan dari sepasang elektroda ditiadakan,

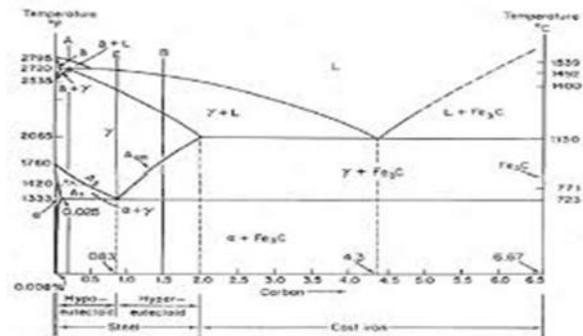
Stainless steel adalah baja paduan yang memanfaatkan keefektifan unsur paduan tersebut seperti Cr dan Ni dan dapat dibagi menjadi sistem Fe-Cr dan Fe-Cr-Ni. Sistem yang pertama termasuk baja tahan karat Maertensit dan Ferit sedangkan sistem yang kedua merupakan baja tahan karat Austenit, dimana terdapat unsur-unsur paduan didalamnya yang mempunyai keunggulan masing-masing, diantaranya sebagai berikut : [4]

Penambahan Molibdenum (Mo) bertujuan untuk memperbaiki ketahanan korosi.

1. Penambahan unsur penstabil karbida (titanium dan niobium) bertujuan menekan korosi batas butir pada material yang mengalami proses sensitasi.
2. Penambahan kromium (Cr) bertujuan meningkatkan ketahanan korosi dengan membentuk lapisan oksida dan ketahanan terhadap oksidasi temperatur tinggi.
3. Penambahan nikel (Ni) bertujuan untuk meningkatkan ketahanan korosi dalam media pengkorosi netral atau lemah.

Baja karbon merupakan salah satu jenis baja paduan yang terdiri atas unsur besi (Fe) dan karbon (C). Dimana besi merupakan unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Dalam proses pembuatan baja akan ditemukan pula penambahan kandungan unsurkimialain seperti sulfur (S), fosfor (P), sikon (Si), mangan (Mn) dan unsur kimia lainnya sesuai dengan sifat baja yang diinginkan. Baja karbon memiliki kandungan unsur karbon dalam besi sebesar 0,2% hingga 2,14%, dimana kandungan karbon tersebut berfungsi sebagai unsur pengeras dalam struktur baja. [5]

Pada baja karbon rendah mempunyai kandungan karbon % C < 0,3 %. Sifat kekerasannya relatif rendah, lunak dan keuletannya tinggi. Baja karbon rendah biasanya digunakan dalam bentuk pelat, profil, sekrup, ulir dan baut. [5]

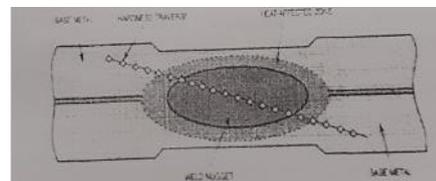


Gambar 4. Diagram Fasa Baja Karbon

Diagram kesetimbangan besi karbon adalah diagram yang menampilkan hubungan antara temperatur dimana terjadi perubahan fasa selama proses pendinginan dan pemanasan yang lambat dengan kadar karbon. Diagram ini merupakan dasar pemahaman untuk semua operasi-operasi perlakuan panas. Dimana fungsi diagram fasa adalah memudahkan memilih temperatur pemanasan yang sesuai untuk setiap proses perlakuan panas baik proses anil, normalizing maupun proses pengerasan.

Uji vickers dikembangkan di inggris tahun 1925an. Dikenal juga sebagai Diamond Pyramid Hardness test (DPH). Uji kekerasan vickers menggunakan indenter piramida intan, besar sudut antar permukaan piramida intan yang saling berhadapan adalah 136 derajat . Ada dua rentang kekuatan yang berbeda, yaitu micro (10g – 1000g) dan macro (1kg – 100kg).

Dalam pengujian Vickers ini standar yang dipakai adalah ASTM E92, 2003. Rentang micro (10g – 1000g). Dalam penelitian ini, untuk *hardness test* penulis menggunakan standar ASTM E92, 2003.



Gambar 5. Bentuk Spesimen Uji Vickers

$$VHN = \frac{1,854 \times P}{d^2} \quad (2)$$

Dimana :

- VHN = Vickers Hardness Number
 P = Beban yang diberikan (kgf)
 d = Panjang diagonal rata-rata hasil indentasi

3. Metode Penelitian

Penelitian dalam pengujian *Vickers dan Uji Tarik* ini mempergunakan peralatan dan bahan sebagai berikut:

1. Gerinda potong
2. Amplas
3. Mesin las titik (*Spot Welding*)
4. Alat Uji Tarik
5. Alat Uji Kekerasan (*Hardness Tester*)
6. *Stainless Steel* (baja tahan karat AISI 304)
7. *Mild Steel* (baja karbon rendah SS 400)

Penelitian ini dimulai dengan tahap persiapan, dengan mempersiapkan segala sesuatu yang berhubungan dengan penelitian ini. Penelitian dilakukan dengan metode *spot welding*. Pembuatan spesimen penelitian menggunakan standar AWS D8. 9-97

Proses Pengelasan *dissimilar metal* (*stainless steel dan mild steel*) dilakukan dengan langkah – langkah berikut:

1. Mempersiapkan mesin las titik (*spot welding*)
2. Mempersiapkan specimen yang akan di las
3. Posisi pengelasan dengan pusat titik di tengah
4. Pada pengelasan *spot welding*, ampere meter yang digunakan disetel pada posisi nol untuk mengukur arus, selanjutnya benda kerja yang akan disambungkan dijepit dengan kawat las dari paduan tembaga dan kemudian dalam waktu singkat dialirkan arus listrik. Atur ampere

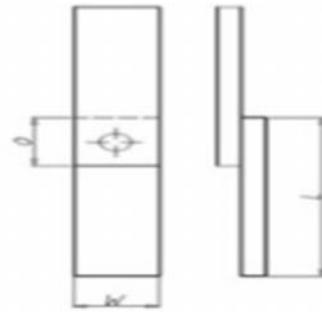
Gambar 1 dan 2 berturut-turut menunjukkan Logam Induk. Sedangkan Gambar 3 menunjukkan ukuran sample penelitian dan Gambar 4 menunjukkan skematik pengujian Tarik



Gambar 6. Logam Induk Stainless Steel AISI 304



Gambar 7. Logam induk baja karbon rendah SS 400



Gambar 8. Ukuran sampel penelitian

Dengan ukuran sampel :

- L : 150 mm
- W : 60 mm
- O : 50 mm



Gambar 9. Skematik pengujian tarik

Setelah menyelesaikan tahap pertama dimana mempersiapkan bahan untuk penelitian, dilanjutkan proses pengelasan. Pada penelitian ini penulis menggunakan metode *spot welding* dengan parameter arus.

(a) Uji Tarik



Gambar 10. Mesin Uji Tarik

Pengujian ini sangat sederhana, tidak mahal dan sudah mengalami standarisasi di seluruh dunia, misalnya di Amerika dengan ASTM E8 dan Jepang dengan JIS 2241.

Untuk hampir semua logam, pada tahap sangat awal dari uji tarik, hubungan antara beban atau gaya yang diberikan berbanding lurus dengan perubahan panjang bahan tersebut. Ini disebut daerah linier atau *linear zone*. Di daerah ini, kurva penambahan panjang vs beban mengikuti aturan Hooke sebagai berikut:
Rasio tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) adalah konstan .

$$\text{Stress: } \sigma = F/A \quad (3)$$

F: gaya tarikan, A: luas penampang

$$\text{Strain: } \epsilon = \Delta L/L \quad (4)$$

ΔL : penambahan panjang, L: panjang awal

Hubungan antara stress dan strain dirumuskan:

$$E = \sigma / \epsilon \quad (5)$$



Gambar 11 Alat Uji Vickers

Keterangan:

1. Hidupkan lampu untuk memberikan bantuan cahaya penerangan pada mikroskop optic
2. Atur brightness dari lampu dengan menggunakan control transformer dan arus yang digunakan sebesar 0,6 A
3. Tempatkan unit untuk aplikasi beban pada posisi kerjanya. Tanda arm untuk menggerakkan beban uji pada posisi vertical keatas.
4. Letakkan benda uji di meja atas yang tersedia (saat kalibrasi tempatkan hardness test-block)
5. Atur jarak indenter dengan permukaan benda uji sekitar 3-4 mm. Kalau ujung indenter tidak terlihat karena tertutup oleh pelindung indenter maka jarak ini adalah 0.5 – 1 mm antara indenter dengan permukaan benda. Usahakan ujung indenter terlihat agar indentasi maksimal.
6. Aplikasikan beban mendongkel arm ke depan sehingga indenter mengenai specimen.
7. Setelah arm mencapai posisi putar sepenuhnya berikan penahanan untuk mengeliminasi creep behavior dari specimen, waktu penahanan 1.5 – 2 detik.
8. Kembalikan arm ke posisi semula dari permukaan benda kerja. Hindari gerakan horizontal agar benda kerja tidak terjadi kerusakan dari unit pebebanan bekas indentasi.
9. Geser unit aplikasi beban sehingga unit mikroskop sekarang berada diatas benda uji, atau focus dari objektif sehingga dapat melihat bekas indentasi pada specimen.
10. Yang perlu dicatat dalam melakukan pengukuran adalah berapa jumlah garis atau jarak antara dua garis-garis horizontal yang disebut sebagai "a". skala dari "a" tersebut sesuai pembesaran yang dipakai. Sedangkan posisi "b" disebut skala jaraknya dihitung sama

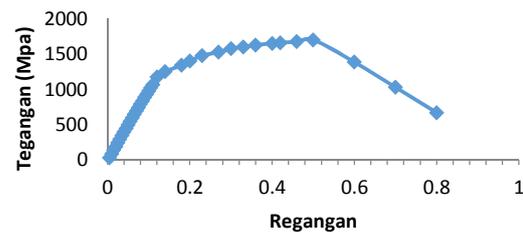
seperti perhitungan jarak "a" – panjang jarak, yang diukur adalah; (a x skala a) + (b x skala b)

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Hasil Pengujian Tarik Pada Logam Induk

Dari hasil proses pengujian Tarik pada logam induk akan didapatkan sifat-sifat mekanik logam dari specimen atau bahan yang di uji tersebut. Hasil dari pengujian tarik pada logam induk dengan ukuran masing-masing benda uji 1,0 mm dapat dilihat pada grafik di bawah ini.

Regangan Vs Tegangan uji tarik untuk base SS400

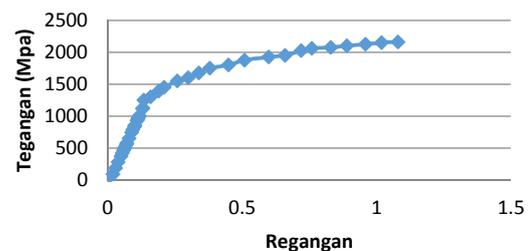


Gambar 12. Grafik Tegangan Regangan Plat 1,0 Mm Logam Induk

Berdasarkan pada hasil pengujian kekuatan tarik yang digambarkan pada Grafik 4.2 diatas menunjukkan kekuatan Tarik material baja karbon rendah SS 400 logam induk. Yaitu :

- Regangan : 0,48
- Tegangan Tarik Mak : 1675 Mpa

Regangan Vs Tegangan uji tarik untuk base Stainless Steel 304



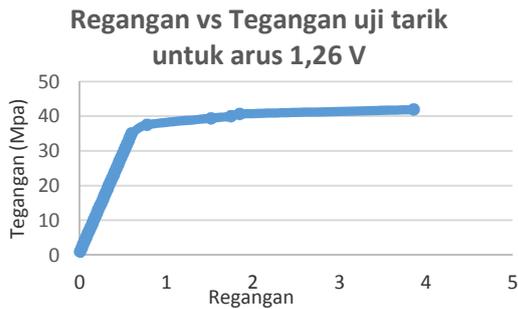
Gambar 13. Grafik Tegangan Regangan Plat 1,0 Logam Induk

Berdasarkan pada hasil pengujian kekuatan Tarik yang digambarkan dalam grafik 4.3 diatas menunjukkan kekuatan Tarik material stainless steel AISI 304 logam induk. Yaitu :

- Regangan : 0,96
- Tegangan Tarik Mak : 2125 Mpa

4.2. Hasil Pengujian Tarik Geser Pada Logam Welded Joint

Hasil dari pengujian Tarik pada gabungan logam weld joint dengan ukuran benda uji 1,0 mm arus 1,26 V dapat dilihat pada grafik dibawah ini :



Gambar 14. Grafik Tegangan - Regangan Benda Uji Arus 1,26 V

Berdasarkan pada hasil pengujian kekuatan Tarik yang digambarkan pada grafik 4.4 diatas menunjukkan kekuatan Tarik gabungan material baja karbon rendah SS 400 dengan stainless steel 304 arus 1,26 V weld joint yaitu:

Tegangan Tarik Geser :

$$F = 320 \text{ kg.F} \quad (6)$$

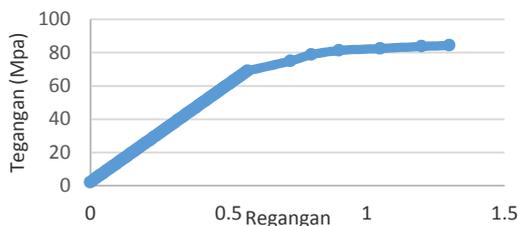
$$= 320 \times 10 \text{ N}$$

$$A = 80 \text{ mm}$$

$$\text{Tegangan} = 3200/80$$

- Regangan : 1,75
- Tegangan Tarik Geser Mak : 40 Mpa

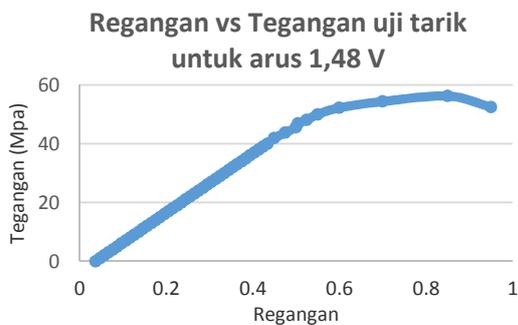
Regangan vs Tegangan uji tarik untuk arus 1,37 V



Gambar 15. Grafik Tegangan-Regangan Benda Uji 1,37 V

Berdasarkan pada hasil pengujian kekuatan tarik geser yang digambarkan pada grafik 4.5 diatas menunjukkan kekuatan Tarik gabungan material baja karbon rendah SS 400 dengan stainless steel AISI 304 arus 1,37 V weld joint yaitu:

- Regangan : 1,3
- Tegangan Tarik Geser Mak : 84 Mpa



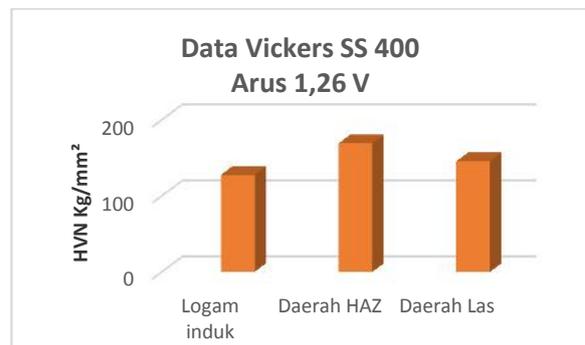
Gambar 16. Grafik Tegangan-Regangan Benda Uji Arus 1,48 V

Berdasarkan pada hasil pengujian kekuatan Tarik geser yang digambarkan pada grafik 4.6 diatas menunjukkan kekuatan Tarik geser gabungan material baja karbon rendah SS 400 dengan stainless steel AISI 304 arus 1,48 V weld joint yaitu:

- Regangan : 0,85
- Tegangan Tarik Geser Mak : 56 Mpa

4.3. Hasil Pengujian Kekerasan Vickers

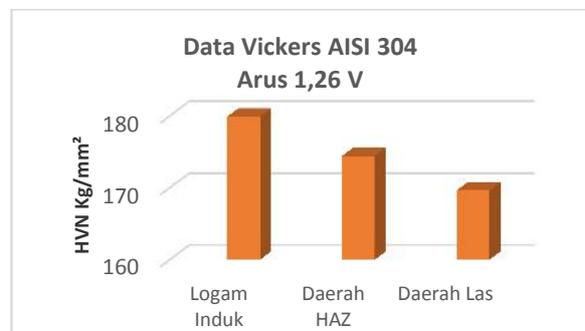
Dari pengujian Vickers yang dilakukan akan diperoleh data kekerasan yang nantiya akan diolah dalam bentuk tabel dan grafik disertai dengan pembahasan teoritis yang berkenaan dengan permasalahan yang diteliti.



Gambar 17. Grafik Rata SS 400 Rata Arus 1,26 V

Tabel 1 Pengujian Kekerasan pada gabungan plat baja karbon rendah SS 400 dengan stainless steel AISI 304 arus 1,26 V.

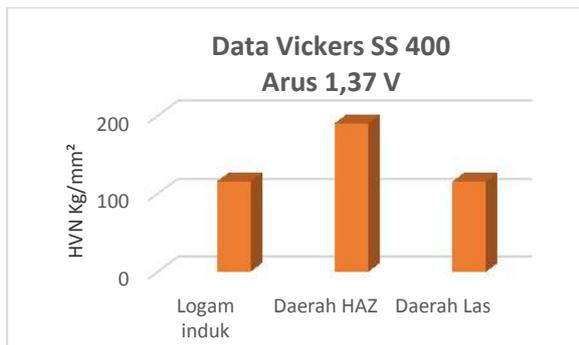
Baja Karbon Rendah SS 400	d1	d2	D	HVN
Logam Induk	0.372	0.392	0.382	127.573
Daerah HAZ	0.354	0.309	0.331	169.214
Daerah Las	0.352	0.362	0.357	145.409



Gambar 18. Grafik Rata AISI 304 Rata Arus 1,26 V

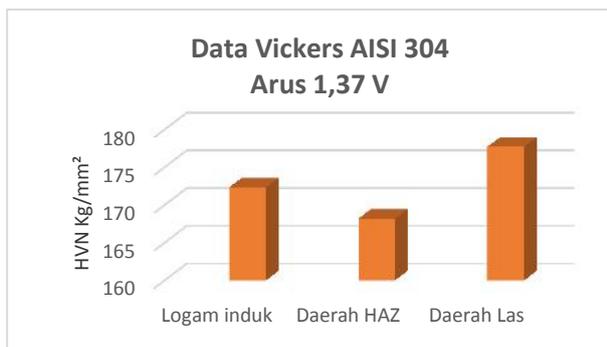
Tabel 2. Pengujian Kekerasan pada gabungan plat baja karbon rendah SS 400 dengan stainless steel 304 arus 1,37 V.

Baja Tahan Karat AISI 304	d1	d2	D	HVN
Logam Induk	0.3	0.322	0.321	179.912
Daerah HAZ	0.33	0.322	0.326	174.442
Daerah Las	0.33	0.324	0.327	169.622



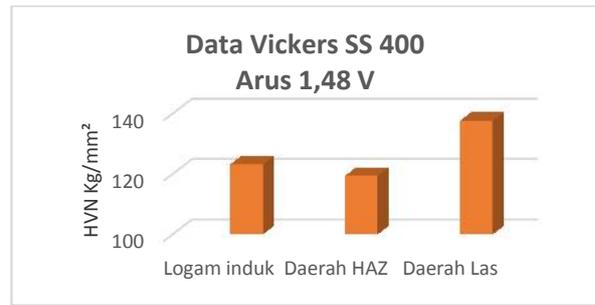
Gambar 19. Grafik Rata SS 400 Rata Arus 1,37 V

Baja Karbon Rendah SS 400	d1	d2	D	HVN
Logam Induk	0.4	0.4	0.4	115.875
Daerah HAZ	0.4	0.424	0.312	190.442
Daerah Las	0.38	0.42	0.4	115.876



Gambar 20. Grafik Rata AISI 304 Rata Arus 1,37V

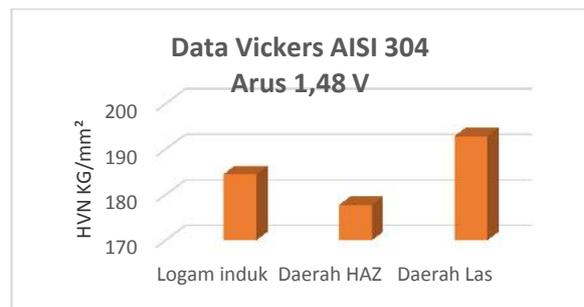
Baja Tahan Karat AISI 304	d1	d2	D	HVN
Logam Induk	0.332	0.324	0.324	172.329
Daerah HAZ	0.334	0.33	0.332	168.194
Daerah Las	0.33	0.316	0.323	177.705



Gambar 21. Grafik Rata SS 400 Rata Arus 1,48 V

Tabel.3 Pengujian Kekerasan pada gabungan plat baja karbon rendah SS 400 dengan stainless steel 304 arus 1,48 V.

Baja Karbon Rendah SS 400	d1	d2	D	HVN
Logam Induk	0.386	0.39	0.388	123.142
Daerah HAZ	0.4	0.384	0.392	119.416
Daerah Las	0.364	0.37	0.367	137.64

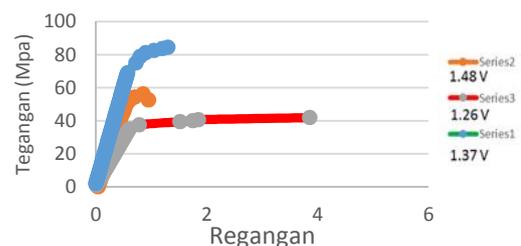


Gambar 22. Grafik Rata AISI 304 Rata Arus 1,48 V

Baja Tahan Karat AISI 304	d1	d2	D	HVN
Logam Induk	0.316	0.318	0.317	184.491
Daerah HAZ	0.324	0.322	0.323	177.705
Daerah Las	0.32	0.3	0.31	192.908

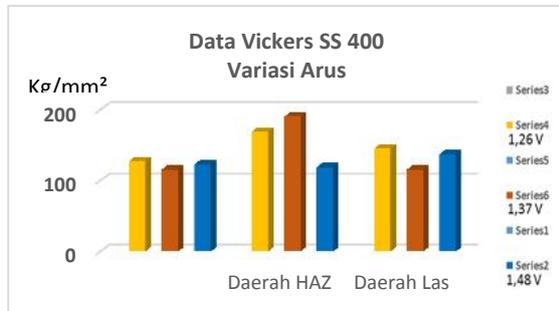
4.4. Pembahasan

Regangan vs Tegangan uji tarik untuk variasi arus



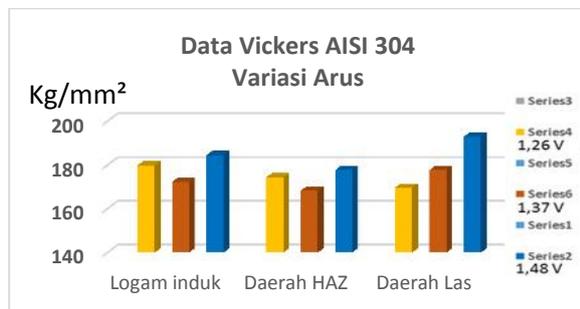
Gambar 23. Tipikal Hasil Pengujian Kekerasan Vickers Pada Arus Berbeda

Pada hasil uji Tarik pelat *weld joint* arus 1,26 V dengan nilai tegangan tarik geser maksimum 40 Mpa - regangan 1,75 ; arus 1,37 V dengan nilai tegangan tarik maksimum 84 Mpa - regangan 1,3 ; arus 1,48 V dengan nilai tegangan tarik maksimum 56 Mpa - regangan 0,85.



Gambar 24. Tipikal Hasil Pengujian Kekerasan Vickers 400 Pada Arus Berbeda

Pada benda uji baja karbon rendah SS 400 arus 1,26 V nilai kekerasan yang paling tinggi pada daerah HAZ Dengan HVN rata-rata 169,21 Kg/mm² kemudian pada arus 1,37 V nilai kekerasan yang paling tinggi nilai kekerasan paling tinggi pada daerah HAZ dengan HVN rata-rata 190,44 Kg/mm² dan pada benda uji arus 1,48 V nilai kekerasan yang paling tinggi pada daerah Las dengan HVN rata-rata 137,64 Kg/mm².



Gambar 25. tipikal hasil pengujian kekerasan Vickers AISI 304 pada arus berbeda

Pada benda uji *Stainless Steel* AISI 304 arus 1,26 V nilai kekerasan yang paling tinggi pada Daerah logam induk Dengan HVN rata-rata 179,912 Kg/mm² kemudian pada arus 1,37 V nilai kekerasan yang paling tinggi nilai kekerasan paling tinggi pada daerah Las dengan HVN rata-rata 177,705 Kg/mm² dan pada benda uji arus 1,48 V nilai kekerasan yang paling tinggi pada daerah Las dengan HVN rata-rata 192,908 Kg/mm².

5. Kesimpulan

Setelah melakukan analisa dan pembahasan terhadap pengujian Tarik, uji kekerasan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu :

1. Pada pengujian Tarik Geser terhadap arus yang berbeda didapat hasil uji Tegangan Tarik Geser maksimum arus 1,37 V adalah 84 Mpa dengan regangan 1,3, dimana dari grafik data

menunjukkan grafik arus 1,37 V memiliki tegangan yang lebih tinggi.

2. Pada pengujian kekerasan *Vickers* terhadap arus yang berbeda di dapat 2 hasil dari data Vickers SS 400 dan AISI 304, dimana pada data Vickers SS 400 nilai HVN tertinggi ada pada daerah HAZ arus 1,37 V dan nilai HVN terendah ada pada daerah Las arus 1,37 V. Sedangkan pada data Vickers AISI 304 nilai HVN tertinggi ada pada daerah Las arus 1,48 V dan nilai HVN terendah ada pada daerah HAZ arus 1,37 V.

Daftar Pustaka

- [1] Amstead, B.H., Djaprie, S. (Alih Bahasa), 1995, *Teknologi Mekanik*, jilid I, PT. Erlangga, Jakarta.
- [2] Wiryosumarto, Harsono. Dkk., 2000, *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta, PT Pradnya Paramita.
- [3] Anaraki A.G., Pipelzadeh M.K., and Stephen J., 2002, *Experimental and numerical analysis of low cycle fatigue of spot welded joints under peel-tension loading*, Mechanical Computational, vol 221, pp.786-804.
- [4] Rinomo Muhammad Fahmi. 2015. **Studi Metalografi Pengaruh Arus Dan Holding Time Pada Pengelasan Spot Welding Material Stainless Steel**. Skripsi. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [5] Masyrukan, 2005, *Penelitian Sifat Fisis Dan Mekanis Baja Karbon Rendah Akibat Pengaruh Proses Pengarbonan Dari Arang Kayu Jati*, Media Mesin, Vol. 7, No. 1,pg 40-46



Dewi Maya Puspitasari menyelesaikan studi SMK di SMK Negeri 1 Denpasar, pada tahun 2015, kemudian melanjutkan program sarjana di Jurusan T Mesin Universitas Udayana pada tahun 2015, dan menyelesaikannya pada tahun 2020.

Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan Teknologi Pengelasan

Performansi Sistem Pendingin Dengan Penggunaan *In – Line Solid Dry Pad* Sebagai Pendingin Awal Udara Pada Kondensor

I Putu Agus Dhammika, Hendra Wijaksana, Wayan Nata Septiadi
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Sebagai negara tropis Indonesia memiliki temperatur udara berkisar 28° - 35°C , sedangkan kondisi nyaman udara pada suatu bangunan berkisar 22°C - 25°C . Untuk mendapatkan kenyamanan sesuai dengan yang distandarisasi secara internasional tersebut, mendorong penggunaan sistem pendingin AC berbasis kompresor secara luas. Penggunaan sistem pendingin AC tentunya membutuhkan konsumsi daya yang cukup besar selain dampak lingkungan yang ditimbulkannya. Berangkat dari hal tersebut diatas, telah banyak dilakukan studi untuk mengurangi pemakaian energi listrik pada sistem pendingin berbasis kompresor tersebut. Pada penelitian ini dilakukan usaha peningkatan efisiensi energi pada sistem pendingin AC berbasis kompresor dengan penggunaan *in line Solid Dry Pad (SDP)* sebagai pendingin awal udara masuk kondensor. Penelitian ini menggunakan variasi kecepatan aliran udara yaitu 2.1 m/s, 2.54 m/s, dan 2.94 m/s dengan pencatatan data dilakukan setiap 15 menit selama 1 jam untuk setiap variasi kecepatan aliran udara dimana temperatur awal dalam kabin diatur pada temperatur 30°C . Dimana hasil penelitian menunjukkan daya yang dibutuhkan pada sistem AC dengan menggunakan *in – line solid dry pad* pada variasi kecepatan aliran udara 2.1 m/s, 2.54 m/s, dan 2.94 m/s lebih rendah 0,92 % dibandingkan pengujian tanpa menggunakan SDP. Hasil penelitian juga menunjukkan kapasitas pendinginan dengan menggunakan *in – line solid dry pad* pada variasi kecepatan aliran udara 2.1 m/s, 2.54 m/s, dan 2.94 m/s lebih tinggi 1.01 % dibandingkan pengujian tanpa menggunakan SDP dan kapasitas pelepasan udara panas oleh kondensor 1.46 % lebih tinggi dibandingkan pengujian tanpa menggunakan SDP. COP dengan menggunakan SDP yang diletakkan pada awal udara masuk kondensor lebih tinggi sebesar 1.10% dibandingkan pengujian tanpa menggunakan SDP.

Kata kunci : Air conditioning, *in – line solid dry pad*

Abstract

As a tropical country, Indonesia has air temperatures around 28° - 35°C , while the comfortable air conditions in a building range from 22°C - 25°C . To get comfort in accordance with the internationally standardized, encourage the use of a compressor-based air conditioning system widely. The use of an AC cooling system certainly requires considerable power consumption in addition to the environmental impacts it causes. Departing from the above, there have been many studies conducted to reduce the use of electrical energy in the compressor-based cooling system. In this research an attempt was made to increase energy efficiency in a compressor-based air conditioning cooling system by using the *Solid Dry Pad (SDP)* line as an initial cooler for condenser air intake. This study uses variations in air flow velocity of 2.1 m / s, 2.54 m / s, and 2.94 m / s with data recording carried out every 15 minutes for 1 hour for each variation of air flow velocity where the initial temperature in the cabin is set at a temperature of 30°C . Where the results of the study showed the power needed in the AC system by using *in-line solid dry pad* at a variation of air flow velocity of 2.1 m / s, 2.54 m / s, and 2.94 m / s lower 0.92% compared to testing without using SDP. The results also showed cooling capacity using *in-line solid dry pad* at variations in air flow velocity of 2.1 m / s, 2.54 m / s, and 2.94 m / s 1.01% higher compared to testing without using SDP and the capacity to release hot air by the condenser 1.46% higher than testing without using SDP. COP using SDP placed at the beginning of the condenser air intake is higher by 1.10% compared to testing without using SDP.

Keywords: Air conditioning, *in – line solid dry pad*

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara yang beriklim tropis serta memiliki temperatur udara berkisar 28° sampai dengan 35°C , sedangkan kondisi nyaman udara pada suatu bangunan temperatur 22°C sampai dengan 25°C dengan kelembaban relatif udara [1]. Untuk mendapatkan kenyamanan sesuai dengan yang distandarisasi secara internasional tersebut, diperlukan suatu sistem pendingin. Secara umum untuk pendinginan ruangan kebanyakan menggunakan sistem pendingin berbasis kompresor atau sistem pendingin siklus kompresi uap. Diketahui pula penggunaan sistem pendingin siklus kompresi uap ini membutuhkan energi listrik yang cukup besar dan juga dengan penggunaan refrigerant yang tidak

ramah lingkungan akan mengakibatkan adanya pemanasan global.

Berangkat dari hal tersebut diatas, telah banyak dilakukan studi untuk mengurangi pemakaian energi listrik pada sistem pendingin berbasis kompresor tersebut. Dalam penelitian ini akan diuji penggunaan *Solid Dry Pad (SDP)* berbahan dasar *dry ice* sebagai material pendingin pada sisi udara masuk kondensor. Susunan SDP yang digunakan adalah *in-line* SDP dimana dengan penggunaan SDP pada sisi udara masuk kondensor, diharapkan dapat meringankan kerja kompresor dengan mengurangi beban pelepasan panas oleh kondensor.

Dalam penelitian ini masalah yang akan dibahas, yaitu bagaimana performansi sistem pendingin dengan penggunaan SDP yang tersusun *in-line*

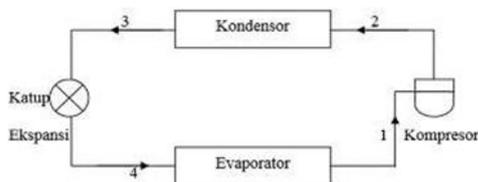
sebagai pendingin udara masuk kondensator terhadap variasi kecepatan aliran udara.

Adapun beberapa batasan yang dalam penelitian ini, yaitu :

1. Waktu pengujian dilakukan selama 1 jam.
2. Temperatur awal ruangan diatur pada 30°C.
3. Ruangan yang didinginkan dianggap terisolasi sempurna.
4. Semua performansi AC didapat secara experimental.

2. Dasar Teori

Pada dasarnya prinsip kerja Air Conditioner (AC) sama dengan refrigerasi, namun Air Conditioner (AC) tidak berfungsi sebagai pendingin saja, tetapi harus dapat menghasilkan udara nyaman. Hal ini dilakukan dengan jalan pengontrolan terhadap kondisi fisika dan kimiawi udara yang meliputi suhu, kelembaban, gerakan udara, tekanan udara, debu, bakteri, bau, gas beracun dan ionisasi.



Gambar 1. Cara Kerja AC

Gambar 1. Secara garis besar prinsip kerja AC adalah penyerapan panas oleh evaporator, pemompaan panas oleh kompresor, pelepasan panas oleh kondensator serta proses ekspansi.



Gambar 2. Distribusi Aliran Udara Dengan Menggunakan In – Line SDP pada Kondensator

Gambar 2. Merupakan distribusi aliran udara pada kondensator dengan menggunakan in – line SDP yang diletakkan pada awal udara masuk kondensator. Dimana laju aliran udara dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$Q_{evaporator/kondensator} = \dot{m} \cdot CP \cdot \Delta T \quad (1)$$

Dimana :

$Q_{evaporator/kondensator}$ = Laju aliran kalor (kJ/s)

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

CP = Panas spesifik ($kJ/kg K$)

ΔT = Temperatur Udara ($^{\circ}C$)

Untuk mencari konsumsi daya dapat menggunakan persamaan :

$$P = V \cdot I \cdot \cos\phi \quad (2)$$

Dimana :

P = Daya Listrik (W)

V = Tegangan Listrik (V) = 220 V

I = Arus Listrik (A)

Ada beberapa macam diagram yang digunakan dalam praktek teknik pengkondisian udara, namun salah satu yang sering digunakan dan melingkupi banyak sifat udara adalah psychrometric chart, dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$COP_{Evaporator} = \frac{q_{evap}}{W_{total}} \quad (3)$$

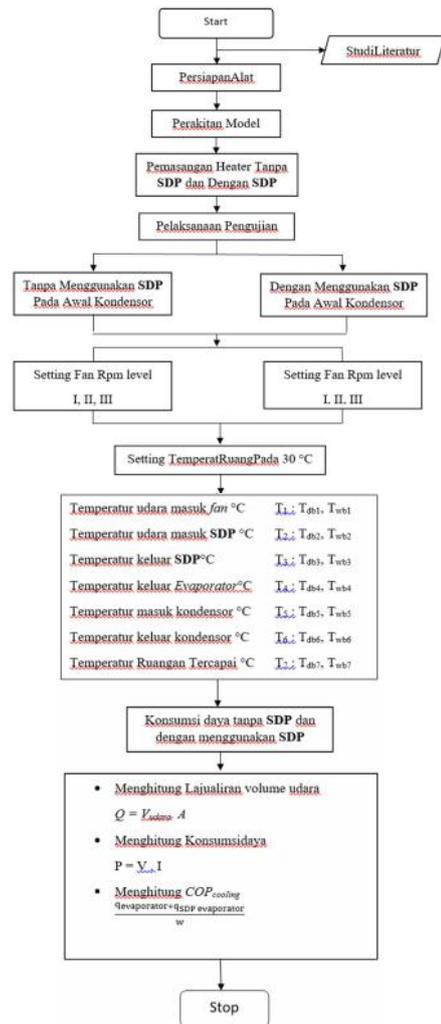
Dimana :

$Q_{Evaporator}$ = Kapasitas pendinginan evaporator (kJ/s)

$Q_{SDP Evaporator}$ = Kapasitas pendinginan SDP evaporator (kJ/s)

W_{Total} = Daya Total (kW)

3. Metode Penelitian

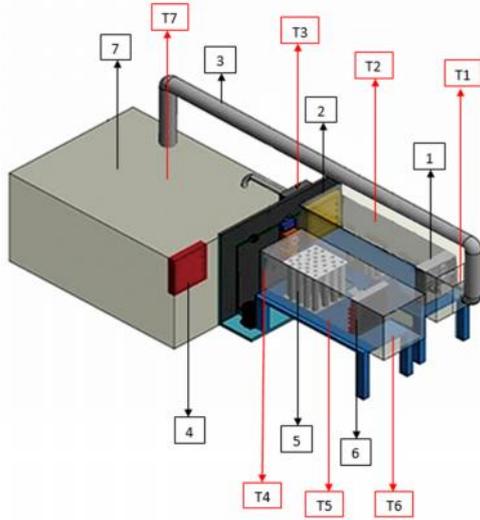


Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Gambar 3. Merupakan diagram alir penelitian, adapun langkah – langkah penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan alat dan bahan / dilakukan pengkalibrasian alat uji
2. Pemasangan heater tanpa menggunakan SDP dan dengan menggunakan SDP
3. Setting fan pada setiap variasi kecepatan aliran udara V_1 , V_2 , dan V_3
4. Mengatur temperatur dalam kabin mencapai 30°C
5. Pelaksanaan pengujian dengan SDP dan Tanpa SDP

6. Pencatatan data
7. Analisa data
8. Penarikan kesimpulan



Gambar 4. Rancangan sistem pendingin dengan *in – line solid dry pad*

Gambar 4. Merupakan rancangan sistem pendingin dengan menggunakan *in – line solid dry pad* yang diletakkan pada awal udara masuk kondensor. Adapun keterangannya sebagai berikut :

1. Kipas
2. Evaporator
3. Pipa saluran udara
4. Heater / Pemanas
5. *In – solid dry pad*
6. Kondensor
7. Kabin

Berikut merupakan penempatan alat ukur/ *thermometer digital* pada rancangan sistem pendingin dengan menggunakan *in – line solid dry pad*.

- T1=Temperatur udara masuk sebelum fan/kipas
- T2 = Temperatur udara keluar fan/
Temperatur udara sebelum evaporator
- T3= Temperatur udara keluar evaporator
- T4= Temperatur udara sebelum SDP
- T5 = Temperatur udara keluar SDP/
Temperatur udara sebelum kondensor
- T6 = Temperatur udara keluar kondensor
- T7 = Temperatur udara yang tercapai

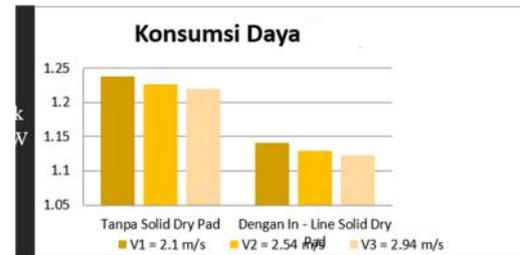
4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Konsumsi Daya Total Dengan Menggunakan *In – Line* SDP dan Tanpa Menggunakan *In – Line* SDP

Dari hasil perhitungan konsumsi daya total dengan menggunakan *in – line* SDP dan tanpa menggunakan *in – line* SDP dapat diplotkan kedalam grafik sebagai berikut.

Tabel 1. Tabel hasil perhitungan konsumsi daya total dengan menggunakan *in – line* SDP dan Tanpa menggunakan *in – line* SDP

NO.	Variasi Kecepatan Aliran Udara (m/s)	Konsumsi Daya Tanpa SDP (kW)	Konsumsi Daya Dengan SDP (kW)
1	$V_1 = 2,1$	1.2379	1.1407
2	$V_2 = 2,54$	1.2267	1.1294
3	$V_3 = 2,94$	1.2192	1.122



Gambar 5. Grafik hasil perhitungan konsumsi daya total dengan menggunakan *in – line* SDP dan Tanpa menggunakan *in – line* SDP

Gambar 5. Merupakan perbandingan konsumsi daya total dari hasil pengujian dengan menggunakan *in – line solid dry pad* dan tanpa menggunakan *in – line solid dry pad* pada variasi kecepatan aliran udara $V_1 = 2.1 \text{ m/s}$, $V_2 = 2.54 \text{ m/s}$, dan $V_3 = 2.94 \text{ m/s}$. Konsumsi daya dengan menggunakan *in – line solid dry pad* yang diletakkan pada awal udara masuk kondensor lebih rendah 0.92 %, dibandingkan konsumsi daya tanpa menggunakan *in – line solid dry pad*. Hal tersebut dikarenakan udara panas yang akan dilepaskan oleh kondensor akan didinginkan terlebih dahulu saat melewati sela – sela *in – line* SDP. Sehingga kerja kondensor untuk melepaskan udara panas akan berkurang. Tentunya dengan berkurangnya kerja kondensor akan berpengaruh terhadap konsumsi daya yang dibutuhkan sistem pendingin tersebut.

4.2. Kapasitas Pendinginan dan Kapasitas Pelepasan Kalor Dengan Menggunakan *In – Line* SDP dan Tanpa Menggunakan *In – Line* SDP

Berdasarkan hasil perhitungan kapasitas pendinginan dan kapasitas pelepasan kalor dengan menggunakan *in – line* SDP dan tanpa menggunakan *in – line* SDP dapat diplotkan kedalam tabel dan grafik sebagai berikut.

Tabel 2. Tabel kapasitas pendinginan dengan menggunakan *in – line* SDP dan tanpa menggunakan *in – line* SDP

No.	Variasi Kecepatan Udara (m/s)	$Q_{\text{Evaporator Tanpa SDP}} (kJ/s)$	$Q_{\text{Evaporator Dengan SDP}} (kJ/s)$
1	$V_1 = 2,1$	1.2712	1.2891
2	$V_2 = 2,54$	1.5816	1.6050
3	$V_3 = 2,94$	1.8883	1.9074

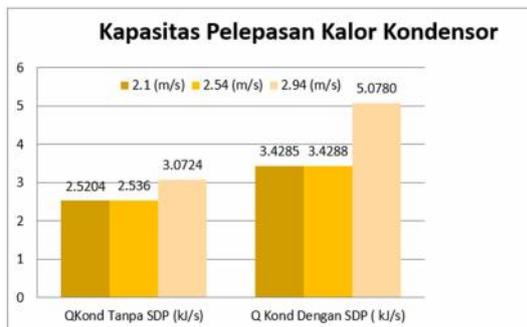


Gambar 6. Gambar kapasitas pendinginan dengan menggunakan *in – line* SDP dan tanpa menggunakan *in – line* SDP

Dari grafik diatas menunjukan perbandingan kapasitas pendinginan dengan menggunakan *in – line* SDP dan tanpa menggunakan *in – line* SDP pada variasi kecepatan aliran udara $V_1 = 2.1 \text{ m/s}$, $V_2 = 2.54 \text{ m/s}$, dan $V_3 = 2.94 \text{ m/s}$. Kapasitas pendinginan dengan menggunakan *in – line* SDP lebih tinggi 1.01% dibandingkan kapasitas pendinginan tanpa menggunakan *in – line* SDP.

Tabel 3. Tabel kapasitas pelepasan kalor dengan menggunakan *in – line* SDP dan tanpa menggunakan *in – line* SDP

No.	Variasi Kecepatan Udara (m/s)	Q _{Kondensor} Tanpa SDP (kJ/s)	Q _{Kondensor} Dengan SDP (kJ/s)
1	2,1	2.5204	3.4285
2	2,54	2.5360	3.4288
3	2,94	3.0724	5.078



Gambar 7. Gambar kapasitas pelepasan kalo dengan menggunakan *in – line* SDP dan tanpa menggunakan *in – line* SDP

Gambar 7. menunjukan perbandingan kapasitas pelepasan kalor dengan menggunakan *in – line* SDP dan tanpa menggunakan *in – line* SDP pada variasi kecepatan aliran udara $V_1 = 2.1 \text{ m/s}$, $V_2 = 2.54 \text{ m/s}$, dan $V_3 = 2.94 \text{ m/s}$. Kapasitas pendinginan dengan menggunakan *in – line* SDP lebih tinggi 1.46 % dibandingkan kapasitas pendinginan tanpa menggunakan *in – line* SDP.

Penggunaan *in – line solid dry pad* yang diletakkan pada awal kondensor dapat membantu meningkatkan kapasitas pendinginan dan pelepasan kalor dari sistem pendingin. Hal tersebut dikarenakan udara panas yang dilepaskan kondensor akan didinginkan terlebih dahulu oleh *in – line* SDP sehingga udara panas yang dilepaskan oleh

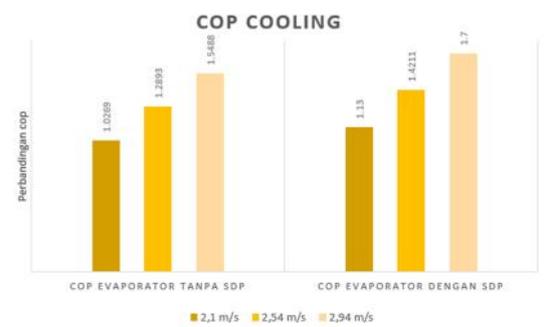
kondensor dapat meningkat. Sehingga temperatur dalam kabin akan lebih cepat dingin yang menyebabkan kerja evaporator dalam mendinginkan udara meningkat.

4.3. Coefficient Of Performance

Koefisien prestasi dari sistem refrigerasi adalah perbandingan antara kalor yang diserap dari ruang pendingin (efek refrigerasi) dan ditambahkan kapasitas pendinginan yang diberikan oleh *in – line solid dry pad* dengan kerja yang dilakukan kompresor [2]. Dari hasil perhitungan COP dapat ditunjukkan grafik dibawah ini.

Tabel 4. Tabel hasil perhitungan COP dengan menggunakan *in – line* SDP dan tanpa menggunakan *in – line* SDP

No.	Variasi Kecepatan Udara (m/s)	COP _{Evaporator} Tanpa SDP	COP _{Evaporator} Dengan SDP
1	2,1	1.0269	1.1300
2	2,54	1.2893	1.4211
3	2,94	1.5488	1.7



Gambar 8. Grafik perbandingan COP dengan menggunakan *in – line* SDP dan tanpa menggunakan *in – line* SDP

Gambar diatas merupakan perbandingan COP dengan menggunakan *in – line* SDP dan tanpa menggunakan *in – line* SDP pada variasi kecepatan aliran udara $V_1 = 2.1 \text{ m/s}$, $V_2 = 2.54 \text{ m/s}$, dan $V_3 = 2.94 \text{ m/s}$. COP dengan menggunakan *in – line solid dry pad* lebih tinggi 1.10 % dibanding COP tanpa menggunakan *in – line* SDP. Hal tersebut dikarenakan SDP membantu mengurangi kinerja dari evaporator dan kondensor sehingga udara yang tersirkulasi lebih cepat dingin dibandingkan sistem pendingin tanpa menggunakan SDP.

5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian tersebut dapat diambil kesimpulan :

1. Konsumsi daya total yang dibutuhkan tanpa menggunakan SDP pada kecepatan aliran udara $V_1 = 2.1 \text{ m/s}$ sebesar 1.2379 kW, $V_2 = 2.54 \text{ m/s}$ sebesar 1.2267 kW, dan $V_3 = 2.94 \text{ m/s}$ sebesar 1.2192 kW. Sedangkan konsumsi daya total yang dibutuhkan dengan menggunakan SDP pada kecepatan aliran udara $V_1 = 2.1 \text{ m/s}$ sebesar 1.1407 kW, $V_2 = 2.54 \text{ m/s}$ sebesar 1.1294 kW, dan $V_3 = 2.94$

m/s sebesar 1.122 kW. Jadi penggunaan in – line solid dry pad yang diletakkan pada awal udara masuk kondensor dapat membantu mengurangi konsumsi daya yang dibutuhkan dari sistem AC tersebut sebesar 0.92%.

2. Kapasitas pendinginan tanpa menggunakan SDP pada kecepatan aliran udara $V1 = 2.1$ m/s sebesar 1.2712 kJ/s, $V2 = 2.54$ m/s sebesar 1.5816 kJ/s, dan $V3 = 2.94$ m/s sebesar 1.8883 kJ/s. Sedangkan kapasitas pendinginan dengan menggunakan SDP yang diletakkan pada awal udara masuk kondensor pada kecepatan aliran udara $V1 = 2.1$ m/s sebesar 1.2891 kJ/s, $V2 = 2.54$ m/s sebesar 1.6050 kJ/s, dan $V3 = 2.94$ m/s sebesar 1.9074 kJ/s. Jadi penggunaan in – line solid dry pad yang diletakkan pada awal udara masuk kondensor dapat membantu meningkatkan kapasitas pendinginan dari sistem AC tersebut sebesar 1.01%.
3. Kapasitas pelepasan kalor tanpa menggunakan SDP pada kecepatan aliran udara $V1 = 2.1$ m/s sebesar 2.5204 kJ/s, $V2 = 2.54$ m/s sebesar 2.5360 kJ/s, dan $V3 = 2.94$ m/s sebesar 3.0724 kJ/s. Sedangkan kapasitas pendinginan dengan menggunakan SDP yang diletakkan pada awal udara masuk kondensor pada kecepatan aliran udara $V1 = 2.1$ m/s sebesar 3.4285 kJ/s, $V2 = 2.54$ m/s sebesar 3.4288 kJ/s, dan $V3 = 2.94$ m/s sebesar 5.078 kJ/s. Jadi penggunaan in – line solid dry pad yang diletakkan pada awal udara masuk kondensor dapat membantu meningkatkan kapasitas pendinginan dari sistem AC tersebut sebesar 1.46%.
4. COP tanpa menggunakan SDP pada kecepatan aliran udara $V1 = 2.1$ m/s sebesar 1.0269 kJ/s, $V2 = 2.54$ m/s sebesar 1.2893 kJ/s, dan $V3 = 2.94$ m/s sebesar 1.5488 kJ/s. Sedangkan COP dengan menggunakan SDP yang diletakkan pada awal udara masuk kondensor pada kecepatan aliran udara $V1 = 2.1$ m/s sebesar 1.1300 kJ/s, $V2 = 2.54$ m/s sebesar 1.4211 kJ/s, dan $V3 = 2.94$ m/s sebesar 1.7 kJ/s. Jadi penggunaan in – line solid dry pad yang diletakkan pada awal udara masuk kondensor dapat membantu meningkatkan COP dari sistem AC tersebut sebesar 1.10%.

Daftar Pustaka

- [1] Baharuddin, Rahim, Ramli, Ishak, M.T., Amin, S., 2014, *Pengaruh Faktor Lingkungan Termal Terhadap Kenyamanan Termal Pengguna Di Dalam Ruang Kelas*, Laporan Akhir Kompetisi Internal Berbasis Unggulan Program Studi, Jurusan Arsitektur, FT, Unhas
- [2] Arora C.P., 1981, *Refrigeration and Air Conditioning*, Tata McGraw-Hill Publishing Company, New Delhi



I Putu Agus Dhammika menyelesaikan studi program sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2015 sampai 2020. Ia menyelesaikan studi program sarjana dengan topik penelitian Performansi Sistem Pendingin In – Line SDP Sebagai Pendingin Awal Pada Kondensor.

Studi Experimental Performansi Pendinginan Pada Solid Dry Pad Susunan In-Line Terhadap Variasi Kelembaban Udara

I Made Sukasna, Hendra Wijaksana dan Ketut Astawa
Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Indonesia merupakan negara beriklim tropis dengan temperature yang cukup tinggi yakni sekitar 30 – 35°C dan dengan tingkat kelembaban relative antara 70%– 80% untuk mendapatkan standar kenyamanan ruangan, yakni 22 °C - 25 °C dengan kelembaban relatif udara (Relative Humidity) 40%-60%. (ASHRAE standart 62 -1989 ASHRAE, Washington DC (1989)) diperlukan sistem pendingin. Dengan permasalahan di atas dibutuhkan mesin pengkondisian udara yang hemat energi dan ramah lingkungan yaitu dew point evaporative cooling. Dew point indirect evaporative cooling merupakan proses pendinginan tanpa mengontakkan langsung udara pada media pendingin. Penelitian ini menggunakan solid dry pad konfigurasi in-line dengan jumlah 20 batang yang berisikan dry ice. Dry ice dimasukkan ke dalam pad dengan panjang pipa 400 mm dengan volume pengisian dry ice 100 %. Pengujian dilakukan untuk mengetahui peforma dew point indirect evaporative cooling sistem, yang meliputi "cooling efficiency, energy efficiency ratio (EER), cooling capacity, dry bulb temperature drop, condensation rate". Variabel yang diukur pada penelitian ini adalah variasi kelembaban dengan Kapasitas Heater 1kW, 1,5kW, dan 2kW. Dari penelitian ini didapat Performansi pendingin SDP yang terjadi akibat variasi kelembaban udara terbaik terdapat pada pemanasan 1,5 kW dengan Relative Humidity =49,4%, Penurunan temperatur (ΔT_{db}) bola kering yang terjadi di setiap variasi kelembaban udara yaitu : kapasitas heater 1 kW dengan $\Delta T_{db} = 2,325^{\circ}\text{C}$, kapasitas heater 1,5 kW dengan $\Delta T_{db} = 3,4^{\circ}\text{C}$, kapasitas heater 2 kW dengan $\Delta T_{db} = 3^{\circ}\text{C}$, Kemampuan SDP dalam menangani beban laten udara paling baik terjadi pada kapasitas heater 2 kW dengan relative humidity = 43,2%

Kata kunci: Dew Point Evaporative Cooling, Variasi Kelembaban, Temperatur

Abstract

Indonesia is a tropical country with a fairly high temperature of around 30 - 35°C and with a relative humidity level of 70% - 80% to get a standard room comfort, which is 22 °C - 25 °C with relative humidity (40 % Relative Humidity) 40%-60%. (ASHRAE standard 62-1989 ASHRAE, Washington DC (1989)) cooling system is required. With the above problems, an air conditioning machine that is energy efficient and environmentally friendly, dew point evaporative cooling, is needed. Dew point indirect evaporative cooling is a cooling process without direct contact with air on the cooling media. This study uses an in-line solid dry pad configuration with a total of 20 bars containing dry ice. Dry ice is put into a pad with a pipe length of 400 mm with a 100% dry ice filling volume. Testing is done to determine the performance of indirect evaporative cooling system dew point, which includes "cooling efficiency, energy efficiency ratio (EER), cooling capacity, dry bulb temperature drop, condensation rate". The variables measured in this study were variations in humidity with a Heater Capacity of 1kW, 1.5kW, and 2kW. The result of this research is SDP cooling performance which occurs due to the best variation of humidity in the heating of 1.5 kW with Relative Humidity = 49.4%, reduction in dry ball temperature (ΔT_{db}) that occurs in each variation of air humidity, namely: heater capacity 1 kW with $\Delta T_{db} = 2.325^{\circ}\text{C}$, heater capacity 1.5 kW with $\Delta T_{db} = 3.4^{\circ}\text{C}$, heater capacity 2 kW with $\Delta T_{db} = 3^{\circ}\text{C}$, SDP capability in handling air latent loads is best at a capacity of 2 kW heater with relative humidity = 43.2%

Keywords: Dew Point Evaporative Cooling, Humidity Variation, Temperature

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara beriklim tropis dengan temperature yang cukup tinggi yakni sekitar 30 – 35°C dan dengan tingkat kelembaban relative antara 70%– 80% . Dengan keadaan iklim seperti diatas , maka Indonesia dapat dikatakan beriklim panas dan lembab (basah), sehingga dibutuhkan sistem pendingin. Sistem pendingin berbasis kompresor merupakan sistem pendingin yang umum digunakan untuk mencapai standar kenyamanan ruangan. Untuk mengurangi kebutuhan energi listrik untuk pendinginan, kemudian diperkenalkan sistem pendingin evaporative yang rendah kebutuhan energi listriknya.

Secara umum ada dua tipe evaporative cooling, yaitu direct evaporative cooling dan indirect evaporative cooling. Perbedaan dasarnya adalah pada udara keluaran direct evaporative cooling (DEC) kelembabannya meningkat, sedangkan pada indirect evaporative cooling (IEC) kelembabannya konstan karena air pendinginnya tidak berkontak langsung dengan udara. Untuk hal itu, akan dilakukan penelitian tentang sistem pendingin evaporative dengan menggunakan Solid Dry Pad (SDP) sebagai sistem pendingin. Sistem pendinginan ini dapat menurunkan temperature dan kelembaban udara dengan menggunakan lebih sedikit energi input dibandingkan sistem berbasis kompresor.

Berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Arief Prasetyo, 2019 diketahui bahwa penggunaan SDP

sebagai pendingin pada dew point cooling sistem menunjukkan penurunan kelembaban relatif udara yang belum begitu signifikan, dengan kelembaban relatif terendah yang dapat dicapai hanya sebesar 84.7%, di sisi lain temperature udara terendah yang dapat dicapai adalah 25.13°C dari temperature udara luar 28.67°C [1]. Sedangkan pada penelitian Made Dwi Mahadi Putra, 2019 dicapai kelembaban relatif terendah pada 83.4%, dengan temperature udara terendah yang dicapai sebesar 23.8°C [2]. Hal tersebut diatas menunjukkan bahwa belum tercapainya tingkat kelembaban relatif yang sesuai standard dan dibutuhkan energi pendinginan yang lebih besar untuk menurunkan tingkat kelembaban udara.

Berdasarkan penjelasan tersebut diatas, maka penulis melakukan penelitian dengan menurunkan tingkat kelembaban udara inlet demi tercapainya tingkat kelembaban relatif yang mendekati standar. Kemudian dianalisa untuk mengetahui pengaruhnya terhadap efisiensi pendinginan dan kapasitas pendinginan sistem SDP tersebut. Penurunan tingkat kelembaban udara inlet ini akan dilakukan dengan memberikan pemanasan awal udara inlet menggunakan heater. Dengan demikian uap air yang terkandung dalam udara akan menguap akibat proses pemanasan yang diberikan oleh heater dan dengan demikian udara inlet akan menjadi lebih kering.

Permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini yaitu bagaimana performansi pendingin solid dry pad susunan in-line terhadap variasi kelembaban udara.

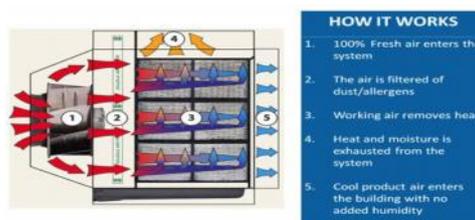
Beberapa batasan ditetapkan dalam penelitian ini meliputi:

1. Temperatur lingkungan dianggap konstan.
2. Saluran udara dianggap terisolasi sempurna.
3. Kecepatan aliran udara sepanjang saluran dianggap konstan.
4. Proses perpindahan panas dan massa akibat bentuk dan susunan pad tidak diperhitungkan.

2. Dasar Teori

Dew Point Evaporativ Cooler merupakan sebuah mesin pendingin yang menggunakan prinsip *evaporative cooling*. Syarat agar proses pendinginan *dew point evaporative* dapat berlangsung dengan baik adalah kondisi lingkungan yang panas dan kering, yaitu lingkungan yang memiliki suhu tinggi dan temperature bolah basah yang relative rendah. Dibandingkan dengan system pendinginan *refrigerasi*, pendingin *dew point evaporative* jauh lebih murah.

Faktor yang mempengaruhi pendinginan *dew point evaporative cooling* antara lain pertimbangan operasional, posisi ruangan dan orientasi pendinginan, aliran udara melalui *pads* pendingin dan *fan*. Prinsip kerja dari system *dew point evaporative cooling*



Gambar 1. *Indirect Evaporative C*

Menurut Martina Karpiscak (1994), karakteristik bahan *dew point evaporative cooling pad* harus mempunyai

1. Sifat penyerapan yang baik. Dalam hal ini bahan yang dapat menyerap air, bukan bahan yang kedap air.
2. Tidak reaktif terhadap bahan di sekitarnya
3. Lebih kaku pada keadaan lembab.
4. Pori-pori bahan *evaporative cooling pad* tidak terlalu kecil sehingga dapat mengakibatkan penurunan tekanan. [3].

Penggunaan *dry ice* sebagai bahan pengujian *dew point evaporative cooling pad* mempunyai sifat penguapan yang sangat baik, dengan membentuk *dry ice* menjadi kecil berbentuk silinder tanpa pipa pvc akan sangat membantu dalam menguapkan udara menjadi lebih dingin dan tahan lama. *Dry ice* atau es kering merupakan karbondioksida padat.



Gambar 2. Karbon Dioksida Padat (Dry Ice)

Suhu udara nyaman (*thermal comfort*) merupakan rentang temperature dimana manusia merasakan kenyamanan[4]. Lipsmeier (1994) menunjukkan beberapa penelitian yang membuktikan batas kenyamanan (dalam Temperatur Efektif/TE) berbeda-beda tergantung kepada lokasi geografis dan subjek manusia (suku bangsa) yang diteliti seperti pada table di bawah ini :

Tabel 1. Batasan Temperatur Nyaman di Beberapa Negara

Pengarang	Tempat	Kelompok Manusia	Batas Kenyamanan
ASHRAE	USA Selatan (30° LU)	Peneliti	20,5°C - 24,5°C TE
Rao	Calcutta (22°LU)	India	20°C - 24,5°C TE
Webb	Singapura	Malaysia	25°C - 27°C TE
	Khatulistiwa	Cina	
Mom	Jakarta (6°LS)	Indonesia	20°C - 26°C TE
Ellis	Singapura	Europa	22°C - 26°C TE
	Khatulistiwa		

Sumber: *Bangunan Tropis, Georg. Lipsmeier*

Sementara itu, Standar Tata Cara Perencanaan Teknis Konservasi Energi pada bangunan Gedung yang diterbitkan oleh Yayasan LPMB-PU membagi suhu nyaman untuk orang Indonesia atas tiga bagian sebagai berikut.

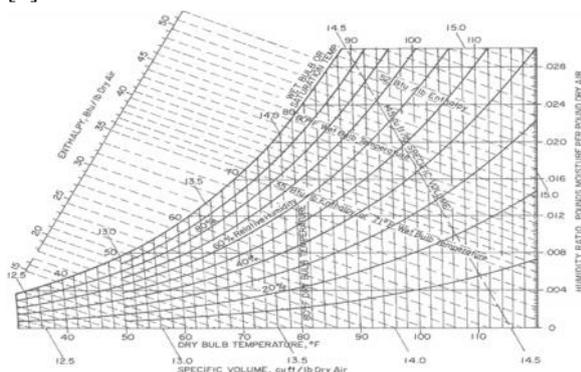
Tabel 2. Suhu Nyaman Menurut Standar Tata Cara Perancangan pada Gedung

	Temperatur Efektif (TE)	Kelembaban (RH)
• Sejuk Nyaman Ambang atas	20,5°C - 22,8°C 24°C	50 % 80%
• Nyaman Optimal Ambang atas	22,8°C - 25,8°C 28°C	70%
• Hangat Nyaman Ambang atas	25,8°C - 27,1°C 31°C	60%

Sumber: Basaria (Talarosha. (2005)

Sifat-sifat udara basah terdiri dari temperatur bola kering (*dry bulb temperature*) (T_{dB}), Temperatur Bola Basah (*Wet Bulb Temperature*) (T_{wB}), Kelembaban spesifik (*spesifik humidity*) (w), kelembaban relatif (*relatife humidity*) (rh), temperatur *dew – point* (T_d), volume spesifik (v), dan entalpi udara[5].

Ada beberapa macam diagram yang digunakan dalam praktek teknik pengkondisian udara, namun salah satu yang sering digunakan dan melingkupi banyak sifat udara adalah *psychrometric chart*. Diagram ini juga memiliki akurasi yang masih dapat diterima untuk masalah pengkondisian udara [6].



Gambar 3. Psychrometric chart.

Sumber: (Suprianto D.Fandi (2004))

Penurunan temperatur bola kering udara (ΔT_{dB}) dapat didefinisikan sebagai selisih antara temperatur bola kering udara memasuki sistem dengan temperatur bola kering udara keluar sistem [7].

$$\Delta T_{dB} = T_{dB,i} - T_{dB,o} \quad (1)$$

Efektivitas ini dapat didefinisikan sebagai penurunan temperatur bola kering yang dihasilkan dibagi dengan selisih temperatur bola kering dan temperatur bola basah udara yang memasuki sistem [8].

$$\epsilon = \frac{T_{dB,i} - T_{dB,o}}{T_{dB,i} - T_{wB,i}} \quad (2)$$

dimana,

$T_{dB,i}$ =temperatur bola kering udara yang memasuki sistem.

$T_{dB,o}$ =temperatur bola kering udara yang keluar sistem.

$T_{wB,i}$ =temperatur bola basah udara yang memasuki sistem

Kapasitas pendinginan adalah mengukur kemampuan system pendinginan untuk

menghilangkan panas. Kapasitas pendinginan ruangan (q_s) dapat dihitung dengan persamaan. Untuk menentukan kapasitas pendinginan *sensible* dapat dihitung dengan persamaan berikut dalam satuan (kW). [9]

$$q_s = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (3)$$

$$q_s = Q \rho C_p (T_{dB,i} - T_{dB,o})$$

dimana ,
 \dot{m} = laju aliran massa udara (kg/s)

C_p = panas spesifik kJ/kg.K

ΔT = beda temperatur (°K)

Laju pendinginan merupakan kecepatan penurunan temperature oleh system pendingin terhadap ruangan persatuan waktu atau selang waktu tertentu. Laju pendinginan ruangan (qr) dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$qr = \dot{m} \cdot C_p \cdot \frac{dT}{dt} \quad (4)$$

dimana ,

\dot{m} =massa (kg)

dT = Beda temperature

C_p = Panasspesifikudara kJ/kg.K

dt = Selangwaktu (menit)

Energy efficiency ratio (EER) merupakan hasil bagi antara kapasitas pendinginan sensibel dengan jumlah konsumsi energi pendinginan. (IJTPE Journal, 2009)

$$EER = \frac{Q \rho C_p (T_{dB,i} - T_{dB,o})}{P_t} \quad (5)$$

dimana,

Q = laju aliran volume udara, m³/s.

ρ = massa jenis udara, kg/m³.

C_p = panas spesifik udara, kJ/kg.K

P_t = konsumsi energi pendinginan, kW

3. Metode Penelitian

Peralatan dan bahan yang akan digunakan dalam melakukan percobaan dan penelitian ini terdiri dari : *Fan* atau kipas yang digunakan untuk mengalirkan udara luar untuk melewati solid dry pad, *Thermometer* yang digunakan untuk mengukur temperatur bola kering dan bola basah udara, *Stopwatch* yang digunakan untuk mengukur waktu saat melakukan proses pendinginan, *Manometer* yang digunakan untuk mengukur beda tekanan pada aliran udara, Dry Ice yang digunakan sebagai material pendingin pad, Timbangan yang digunakan untuk mengukur massa total SDP yang telah terisi dry ice sebelum pengujian dan sesudah pengujian untuk mengetahui massa dry ice yang menyublim atau mengetahui berkurangnya massa dry ice setelah pengujian, Anemometer yang digunakan untuk mengukur kecepatan aliran udara pada saluran udara, dan kapas yang digunakan untuk menampung air kondensat yang terkumpul pada solid dry pad.

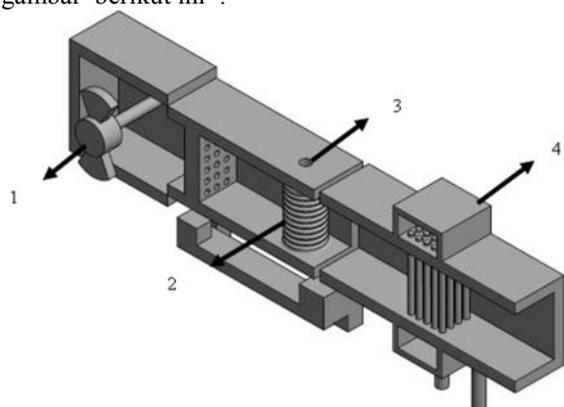
Kelembaban udara yang digunakan dalam penelitian ini akan divariasikan dengan memvariasikan pemanasan udara inlet oleh heater kapasitas 1.0 ; 1.5 ; 2.0 kW, kemudian dicatat TdB

dan TwB outlet heater dan ditentukan kelembaban relatifnya berdasarkan psychrometric chart, didapat variasi kelembaban relative RH1, RH2, RH3.

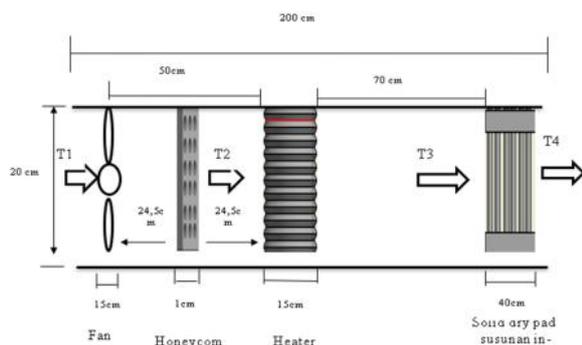
Kelembaban udara I (heater 1.0 kW) – RH 1= 63%
Kelembaban udara II (heater 1.5 kW) – RH 2 = 49,4%

Kelembaban udara III (heater 2.0 kW) – RH3 = 43,2%

Untuk mempermudah pengujian *dew point cooling system* maka dibuat pemodelan alat seperti gambar berikut ini :



Gambar 4. Desain Dew Point Cooling System



Gambar 5. Model Skematik Pengujian

Keterangan gambar :

- T1 = Temperatur udara masuk Fan
- T2 = Temperatur udara masuk Heater
- T3 = Temperatur udara masuk Pad/keluar Heater
- T4 = Temperatur udara keluar Pad

Pengujian *dew point cooling system* ini dilakukan dengan memvariasikan kecepatan aliran udara masuk, prosentase volume pengisian pipa.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Data Kapasitas Heater

Dari penelitian yang dilakukan, diambil 3(tiga) variasi kapasitas Heater yaitu :

- a. Kapasitas Heater 1 kW
- b. Kapasitas Heater 1,5 kW
- c. Kapasitas Heater 2 kW

4.2. Data Temperatur

Tabel 3. Data Performa Sistem Pendingin Dengan Menggunakan SDP Kapasitas Heater 1 kW

Time/ Secound	T1(°C)		T2(°C)		T3(°C)		T4(°C)	
	Tdb1	Twb1	Tdb2	Twb2	Tdb3	Twb3	Tdb4	Twb4
15 Menit	28	26	32	30	34,4	28,2	30,4	25,2
30 Menit	28	26	33	30	34,8	28,6	32,4	27,6
45 Menit	28	26	33	30	35,3	29	34	28,6
60 Menit	28	26	33	30	35,6	29,3	34	28,6
Rata- Rata	28	26	32,75	30	35,025	28,775	32,7	27,5

Tabel 3 menunjukkan penurunan temperatur bola kering (ΔT_{dB}) udara. Temperatur bola kering (ΔT_{dB}) udara masuk sistem dengan rata-rata 35,025°C mengalami penurunan temperatur sebesar 2,325°C dengan temperatur bola kering (ΔT_{dB}) udara keluar sistem dengan rata-rata 32,7°C.

Tabel 4. Data Performa Sistem Pendingin Dengan Menggunakan SDP Kapasitas Heater 1,5 kW

Time/ Secound	T1(°C)		T2(°C)		T3(°C)		T4(°C)	
	Tdb1	Twb1	Tdb2	Twb2	Tdb3	Twb3	Tdb4	Twb4
15 Menit	29	27	34	32	39,2	29,6	32,8	26,8
30 Menit	29	27	34	32	39,2	29,6	35,6	28
45 Menit	29	27	34	32	39,3	29,6	37,5	28,7
60 Menit	29	27	34	32	39,6	29,6	37,8	28,9
Rata- Rata	29	27	34	32	39,325	29,6	35,925	28,1

Pada tabel 4 menunjukkan penurunan temperatur bola kering (ΔT_{dB}) udara. Temperatur bola kering (ΔT_{dB}) udara masuk sistem dengan rata-rata 39,325 °C mengalami penurunan temperatur sebesar 3,4°C dengan temperatur bola kering (ΔT_{dB}) udara keluar sistem dengan rata-rata 35,925°C

Tabel 5. Data Performa Sistem Pendingin Dengan Menggunakan SDP Kapasitas Heater 2 kW

Time/ Secound	T1(°C)		T2(°C)		T3(°C)		T4(°C)	
	Tdb1	Twb1	Tdb2	Twb2	Tdb3	Twb3	Tdb4	Twb4
15 Menit	28	27	40	34	41,9	29,5	36,4	27,6
30 Menit	28	27	40	35	42,6	29,9	39,9	28
45 Menit	28	27	41		42,8	29,9	40,9	28,6
60 Menit	28	27	41	35	43,1	33,6	41,2	30,2
Rata- Rata	28	26	40,50°C	34,75	42,6	30,725	39,6	28,6

Tabel 5 menunjukkan penurunan temperatur bola kering (ΔT_{dB}) udara. Temperatur bola kering (ΔT_{dB}) udara masuk sistem dengan rata-rata 42,6°C mengalami penurunan temperatur sebesar 3°C dengan temperatur bola kering (ΔT_{dB}) udara keluar sistem dengan rata-rata 39,6°C

4.3 Performansi Pendinginan *Evaporative Cooling*

Penurunan temperatur bola kering udara (ΔT_{dB}) dapat didefinisikan sebagai selisih antara temperatur bola kering udara memasuki sistem dengan temperatur bola kering udara keluar sistem (1).

$$\Delta T_{dB} = T_{dB,i} - T_{dB,o}$$

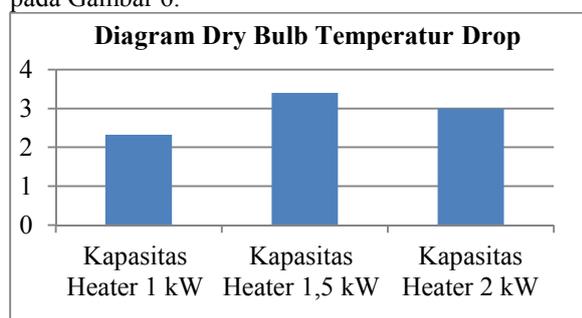
Dry bulb temperatur drop pada evaporative cooling pad dengan rasio pengisian tube 100% Pada Kapasitas Heater 1 kw, 1,5 kw dan 2 kw terhadap dew point cooling system ini dengan hasil sebagai berikut:

$$\Delta T_{dB} = 35,025^{\circ}\text{C} - 32,7^{\circ}\text{C} = 2,325^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{dB} = 39,325^{\circ}\text{C} - 35,925^{\circ}\text{C} = 3,4^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{dB} = 42,6^{\circ}\text{C} - 39,6^{\circ}\text{C} = 3^{\circ}\text{C}$$

Untuk memudahkan perhitungan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Dry Bulb Temperatur Drop

Efektivitas ini dapat didefinisikan sebagai penurunan temperatur bola kering yang dihasilkan dibagi dengan selisih temperatur bola kering dan temperatur bola basah udara yang memasuki sistem.

$$\epsilon = \frac{T_{dB,i} - T_{dB,o}}{T_{dB,i} - T_{WB,i}} \quad (6)$$

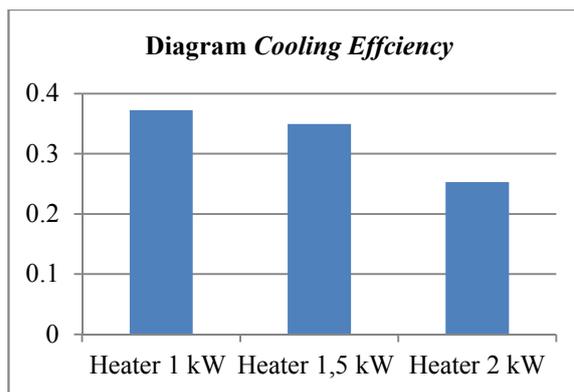
Cooling Efficiency pada evaporative cooling pad dengan rasio pengisian tube 100% Pada Kapasitas Heater 1 kw, 1,5 kw dan 2 kw terhadap dew point cooling system ini dengan hasil sebagai berikut:

$$\epsilon = \frac{35,025 - 32,7}{35,025 - 28,775} = 0,372$$

$$\epsilon = \frac{39,325 - 35,925}{39,325 - 29,6} = 0,349$$

$$\epsilon = \frac{42,6 - 39,6}{42,6 - 30,725} = 0,252$$

Hasil di atas dapat dicari dengan cara yang sama seperti persamaan diatas, dengan mengetahui Temperatur keluar heater, temperatur bola basah keluar heater dan temperatur keluar solid dry pad dari system evaporative tersebut. Untuk memudahkan perhitungan dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram Cooling Efficiency

Kapasitas pendinginan adalah mengukur kemampuan system pendinginan untuk menghilangkan panas. Kapasitas pendinginan ruangan (q_s) dapat dihitung dengan persamaan. Untuk menentukan kapasitas pendinginan *sensible*

Dimana :

$$\rho = 1,2 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$V = 11,3 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$CP = 1,03 \text{ (KJ/kg.K)}$$

$$A = a \times b = 20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm} = 400 \text{ cm}^2 = 0,04 \text{ m}^2$$

$$Q = V \cdot A = 11,3 \text{ m}^3/\text{s} \times 0,04 \text{ m}^2 = 0,452 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{m} = Q \rho = 0,453 \text{ m}^3/\text{s} \times 1,2 \text{ kg/m}^3 = 0,544 \text{ kg/s}$$

dapat dihitung dengan persamaan berikut dalam satuan (kW).

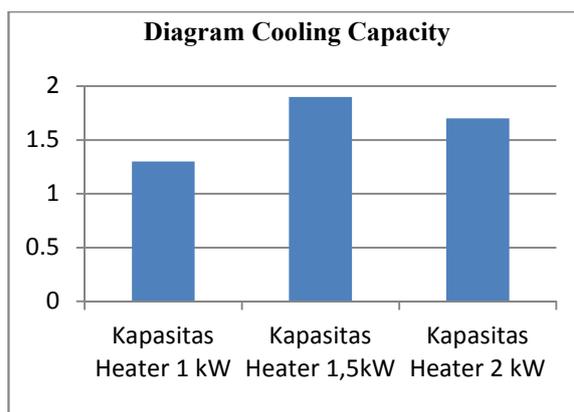
$$q_s = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (7)$$

Cooling capacity pada evaporative cooling pad dengan rasio pengisian tube 100% Pada Kapasitas Heater 1 kw, 1,5 kw dan 2 kw terhadap dew point cooling system ini dengan hasil sebagai berikut:

$$q_s = 0,544 \text{ kg/s} \times 1,03 \text{ KJ/kg}^{\text{k}} (2,325^{\circ}\text{C}) = 1,3 \text{ kW}$$

$$q_s = 0,544 \text{ kg/s} \times 1,03 \text{ KJ/kg}^{\text{k}} (3,4^{\circ}\text{C}) = 1,9 \text{ kW}$$

$$q_s = 0,544 \text{ kg/s} \times 1,03 \text{ KJ/kg}^{\text{k}} (3^{\circ}\text{C}) = 1,7 \text{ kW}$$



Gambar 8. Diagram Cooling Capacity

Energy efficiency ratio (EER) merupakan hasil pendinginan sensibel dengan pendinginan.

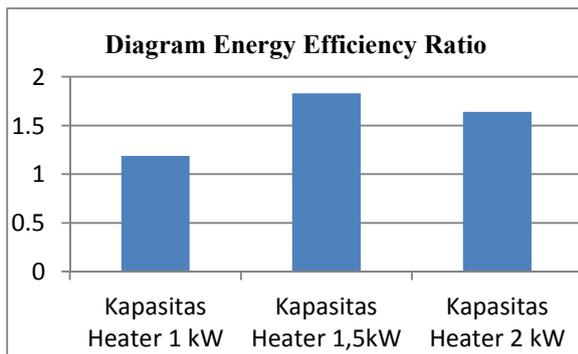
$$\epsilon = \frac{q_s}{\dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T} \quad (8)$$

Energy efficiency ratio pada evaporative cooling pad dengan rasio pengisian tube 100% Pada Kapasitas Heater 1 kw, 1,5 kw dan 2 kw terhadap dew point cooling system ini dengan hasil sebagai berikut

$$EER = \frac{0,452 \times 1,2 \times 1,03(35,025 - 32,7)}{0,036 + 1} = 1,188$$

$$EER = \frac{0,452 \times 1,2 \times 1,03(39,325 - 35,925)}{0,036 + 1} = 1,83$$

$$EER = \frac{0,452 \times 1,2 \times 1,03(42,6 - 39,6)}{0,036 + 1} = 1,64$$



Gambar 8. Diagram Energy Efficiency Ratio

Pengembunan atau kondensasi merupakan proses perubahan molekul di dalam keadaan uap (contohnya uap air) yang dengan spontan menjadi cair (contohnya air). Besarnya laju pengembunan (kondensasi) yang terjadi dapat dihitung dengan perbedaan berat kapas sebelum pengujian (ma_0) dengan berat kapas sesudah pengujian (ma).

$$Er = \frac{(\Delta ma) / \rho_{air}}{t} = \frac{(ma - ma_0) / 1000Kg/m^3 \times 10^3}{t} = (m^3/jam)$$

Tabel 6. Penyerapan Massa Kondensat

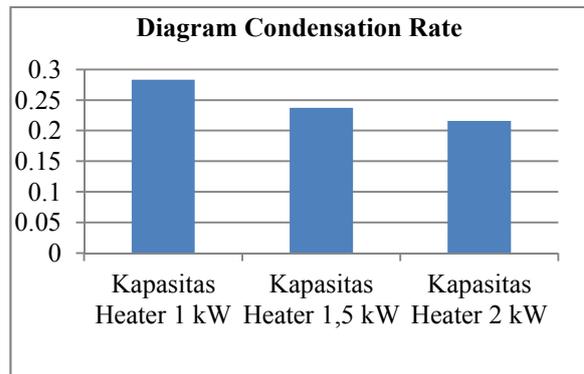
Kapasitas Heater	Waktu (Menit)	Massa awal (kg)	Massa akhir (kg)
1 kW	60	0,045	0,328
1,5 kW	60	0,045	0,282
2 kW	60	0,045	0,261

Condensation Rate pada evaporative cooling pad dengan rasio pengisian tube 100% Pada Kapasitas Heater 1 kw, 1,5 kw dan 2 kw terhadap dew point cooling system ini dengan hasil sebagai berikut:

$$Er = \frac{(0,328 - 0,045) / 1000Kg/m^3 \times 10^3}{1jam} = 0,283m^3/jam$$

$$Er = \frac{(0,282 - 0,045) / 1000Kg/m^3 \times 10^3}{1jam} = 0,237m^3/jam$$

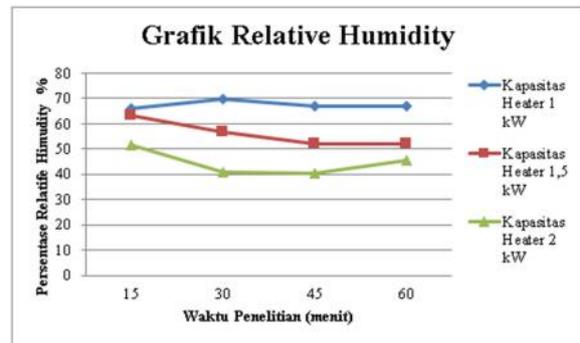
$$Er = \frac{(0,261 - 0,045) / 1000Kg/m^3 \times 10^3}{1jam} = 0,216m^3/jam$$



Gambar 9. Diagram condensation Rate

4.4 Kelembaban *Relative Humidity* (RH) Terhadap Variasi Kelembaban

Dari pengolahan data diatas diperoleh juga data berupa kelembaban udara (RH) dari program psychrometric chart. Kelembaban Udara (RH) merupakan kadar uap air yang ada di udara atau rasio antara tekanan uap air actual pada temperatur tertentu dengan tekanan uap air jenuh pada temperatur tersebut.



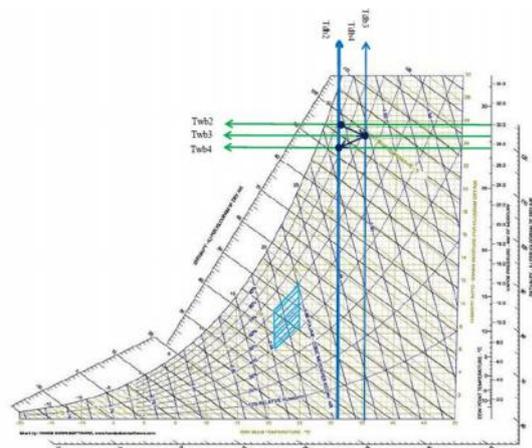
Gambar 10. Grafik Relative Humidity 1kW, 1,5 kW, 2 kW

4.5 Grafik Psychrometri

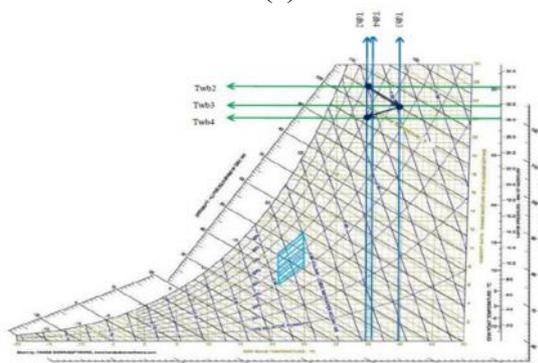
Grafik Psychrometri merupakan grafik untuk mengetahui kajian mengenai sifat-sifat campuran udara dan uap air, dengan mengetahui T_{in} (T_3) dan T_{out} (T_4) untuk memudahkan mencari titik pada diagram psychrometri chart diperlukan tabel sebagai berikut:

Tabel 7. Temperatur Rata-Rata

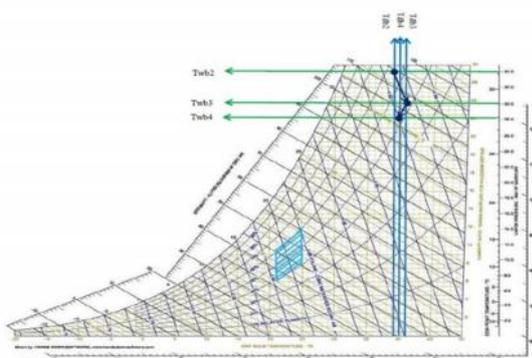
Kapasitas Heater	Waktu	T3(°C)		T4(°C)	
		Tdb3	Twb3	Tdb4	TwB4
1 kW	60 menit	35,025	28,775	32,7	27,5
1,5 kW	60 menit	39,325	29,6	39,6	28,6
2 kW	60 menit	42,6	30,725	39,6	28,6



(a)



(b)



(c)

Keterangan :

- (a) Grafik Psychrometri pada Kapasitas Heater 1 kW, udara mengalami proses pemanasan dan dehumidifikasi, kemudian pendinginan dan dehumidifikasi.
- (b) Grafik Psychrometri pada Kapasitas Heater 1,5 kW, udara mengalami proses pemanasan dan dehumidifikasi, kemudian pendinginan dan dehumidifikasi
- (c) Grafik Psychrometri pada Kapasitas Heater 2 kW, udara mengalami proses pemanasan dan dehumidifikasi, kemudian pendinginan dan dehumidifikasi

Grafik Psychrometri merupakan grafik untuk mengetahui kajian mengenai sifat – sifat campuran udara dan uap air. Grafik psychrometri didapat dari

plot tabel temperature rata – rata pada T 3 dan T 4. Pada gambar diatas merupakan gambar grafik psychrometri pengujian. Dapat dilihat bahwa pada proses pendinginan dew point, udara yang dihasilkan akan mengalami proses pemanasan dan dehumidifikasi kemudian pendinginan dan dehumidifikasi, dimana dapat diartikan bahwa udara yang memasuki sistem dew point akan mengalami peningkatan temperatur pada saat melintasi heater kemudian mengalami penurunan temperatur dan penurunan kandungan uap air pada saat melintasi pad yang berisikan dry ice.

5. Kesimpulan

Dari data hasil penelitian yang diambil maka dapat ditarik suatu kesimpulan sebagai berikut:

1. Performansi pendingin SDP yang terjadi akibat variasi kelembaban udara terbaik terdapat pada pemanasan 1,5 kW dengan Relative Humidity =49,4%, jika pemanasan ditingkatkan ke kapasitas Heater 2 kW maka performansinya akan menurun
2. Penurunan temperatur (ΔT_{db}) bola kering yang terjadi di setiap variasi kelembaban udara yaitu : kapasitas heater 1 kW dengan $\Delta T_{db} = 2,325^{\circ}C$, kapasitas heater 1,5 kW dengan $\Delta T_{db} = 3,4^{\circ}C$, kapasitas heater 2 kW dengan $\Delta T_{db} = 3^{\circ}C$
3. Kemampuan SDP dalam menangani beban laten udara paling baik terjadi pada kapasitas heater 2 kW dengan relative humidity = 43,2%

Daftar Pustaka

- [1] Arief Prasetyo, 2019, *Studi Experimental Penggunaan dry Ice Untuk konfigurasi Inline Dengan rasio Pengisian tube 50% terhadap Performansi dew Point Cooling System*, Jurnal Teknik Desain Maekanika, Vol. 8 No 2, pp. 551-556
- [2] Made Dwi Mahadi Putra, 2019, *Studi Experimental Penggunaan Dry Ice Untuk Konfigurasi Inline Dengan Rasio Pengisian Tube 100% Terhadap Performansi Dew Point Cooling System*, Jurnal Teknik Desain Mekanika, Vol 8. No 2, pp. 557-561.
- [3] Martin Karpiscak, & Mary H. Marion, 1994, *Evaporative Cooler Water Use* [journal]. Arizona (USA): The University of Arizona.
- [4] Lippsmeier, Georg, 1994, *Tropenbau Building in the Tropics, Bangunan Tropis (terj.)*, Jakarta: Erlangga
- [5] Basaria Talarosha, 2005, *Menciptakan Kenyamanan Thermal Dalam Bangunan*. Sistem Teknik Industri, Vol.6, pp. 148-149.
- [6] Suprianto, Fandi D., (2004), *Peningkatan Unjuk Kerja Peralatan Air Washer Dan Evaporative Cooler*. p.12

- [7] Putra Toni Dwi, dan Finahari Nurida, 2011, *Pengaruh Perubahan Temperatur Media Pendingin Pada Direct Evaporative Cooler*, Journal Proton, Vol. 3, No.1.
- [8] Harris, Norman C., 1991. *Modern Air Conditioning Practice*. McGraw-Hill, inc.
- [9] Holman J. P., 1986, . *Heat Transfer* . Amerika Serikat: Erlangga



Uji Emisi Gas Buang Mesin Genset 2 Langkah Berbahan Bakar Fleksible (Biogas Dan Bensin).

I Wayan Agus Rantia Dana, Tjokorda Gde Tirta Nindhia, dan I Wayan Surata
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, Bali

Abstrak

Bahan bakar biogas yang diproduksi dari sistem pertanian terpadu (SIPADU) di Bali biasanya hanya dimanfaatkan untuk memasak, namun dengan adanya genset fleksibel fuels biogas bisa digunakan untuk bahan bakar genset untuk menghasilkan energy listrik yang pada saat ini menjadi kebutuhan bagi masyarakat, dengan adanya genset fleksibel fuel maka secara tidak langsung membantu program pemerintah untuk mengurangi efek gas rumah kaca. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan pengukuran data emisi gas buang yang dihasilkan pada genset fleksibel fuels, dengan variasi bahan bakar antara lain: Biogas yang dimurnikan dari gas hydrogen sulfide (H_2S), uap air (H_2O), dan karbon dioksida (CO_2), biogas yang dimurnikan dari hydrogen sulfide (H_2S), dan uap air (H_2O), dan pertalite. Terdapat juga variasi pembebanan sebesar 300 watt, dan 0 watt untuk mengetahui pengaruh yang di timbulkan terhadap emisi gas buang yang dihasilkan. Karbon monoksida yang dihasilkan Pertalite dengan beban 300 watt menghasilkan 3,43% merupakan hasil emisi tertinggi dan biogas dimurnikan dari hydrogen sulfide (H_2S) dan uap air (H_2O) dengan beban 0 watt menghasilkan 0,063% merupakan hasil emisi terendah. Hidro karbon yang dihasilkan pertalite dengan beban 300 watt menghasilkan 1184 ppm merupakan hasil tertinggi dan biogas yang dimurnikan dari hydrogen sulfide (H_2S) dan uap air (H_2O) dengan beban 300 watt menghasilkan 552,6 ppm merupakan hasil terkecil. Karbon dioksida yang dihasilkan biogas yang dimurnikan dari hydrogen sulfide (H_2S), uap air (H_2O), dan karbon dioksida (CO_2) dengan beban 300 watt menghasilkan 5,53% merupakan hasil tertinggi dan pertalite dengan beban 0 watt menghasilkan 2,83 merupakan hasil terendah.

Kata kunci : biogas, pertalite, fleksibel fuels, emisi.

Abstract

Biogas fuel produced from integrated farming systems (SIPADU) in Bali is usually only used for cooking, but with the existence of a flexible generator biogas fuels can be used to fuel the generator set to produce electrical energy which is currently a necessity for the community, with the existence of a flexible fuel generator, it indirectly helps the government program to reduce the effects of greenhouse gases. The method used in this research is to test exhaust emissions on flexible fuels generators, with variations in fuel including: Biogas purified from hydrogen sulfide (H_2S), water vapor (H_2O), and carbon dioxide (CO_2), biogas which is purified from hydrogen sulfide (H_2S), and water vapor (H_2O), and pertalite. There are also variations in loading of 300 watts, and 0 watts to determine the effect caused by the resulting exhaust emissions. Carbon monoxide produced by Pertalite with a load of 300 watts produces 3.43% is the highest emission result and biogas is purified from hydrogen sulfide (H_2S) and water vapor (H_2O) with a 0 watt load producing 0.063% is the lowest emission result. Hydro carbon produced by pertalite with a load of 300 watts yielding 1184 ppm is the highest yield and biogas purified from hydrogen sulfide (H_2S) and water vapor (H_2O) with a 300 watt load producing 552.6 ppm is the smallest result. Carbon dioxide produced by biogas purified from hydrogen sulfide (H_2S), water vapor (H_2O), and carbon dioxide (CO_2) with a load of 300 watts yields 5.53% is the highest yield and pertalite with a load of 0 watts produces 2.83 is the result Lowest.

Keywords: biogas, pertalite, flexible Fuels, emissions.

1. Pendahuluan

Dalam kehidupan sehari-hari kita telah menggunakan bahan bakar fosil yang semakin hari semakin meingkat, dan tanpa kita sadari bahwa penggunaan bahan bakar fosil memberikan dampak negative terhadap lingkungan. Kualitas udara yang semakin hari semakin menurun akibat asap dari pembakaran minyak bumi [1].

Sebagai gantinya maka kita harus mencari energi alternatif guna mengurangi penggunaan bahan bakar fosil. Energi biogas merupakan salah satu dari energi baru terbarukan yang sudah banyak di kembangkan untuk menggantikan bahan bakar fosil, adapun bahan bahan sumber energi biogas seperti limbah kotoran ternak, sampah organik, yang di proses oleh bakteri metanogenik dalam kondisi tanpa oksigen

(anaerob). Secara umum teknologi biogas dapat mengatasi permasalahan akan kebutuhan energi karena melimpahnya kotoran ternak yang belum dikelola secara maksimal [2].

Energi biogas adalah sebuah energi yang mulai di kembangkan di Indonesia khususnya pulau Bali, biogas di kembangkan melalui program Sistem Pertanian Terpadu (SIPADU), salah satu program pemerintah Bali dalam rangka untuk meningkatkan sistem pertanian yang ada di Bali. Selain menghasilkan pupuk organik sipadu, juga menghasilkan biogas yang baik, namun hasil biogas dari sipadu belum dimanfaatkan secara maksimal dan masih banyak yang terbuang, biogas yang di hasilkan hanya digunakan untuk keperluan memasak [3]. Dengan demikian, salah satu pemanfaatan

Biogas adalah dengan menjadikan biogas sebagai bahan bakar untuk menghasilkan listrik dari sebuah generator set (genset).

Guna mengurangi pemakaian bahan bakar fosil yang berlebih, yang mengakibatkan terjadinya polusi udara yang kian lama kian meningkat. Oleh sebab itu penulis ingin mengetahui seberapa besar manfaat dari penggunaan bahan bakar biogas sebagai bahan bakar pengganti untuk mengatasi polusi udara. Genset dipilih karena untuk penyediaan energi listrik di daerah pedesaan, dan juga untuk pemanfaatan biogas secara maksimal.

Adapun beberapa tujuan yang ingin disampaikan pada Penelitian ini antara lain:

1. Untuk mengetahui berapa emisi gas buang pada bahan bakar biogas yang dimurnikan dari *hydrogen sulfide* (H_2S) dan uap air (H_2O)
2. Untuk mengetahui berapa emisi gas buang pada bahan bakar biogas yang dimurnikan dari *hydrogen sulfide* (H_2S), uap air (H_2O), dan karbon dioksida (CO_2).
3. Untuk mengetahui berapa emisi gas buang pada bahan bakar bensin.

2. Dasar Teori.

2.1. pengertian Biogas

Biogas adalah gas mudah terbakar (*flammable*) yang dihasilkan dari proses fermentasi bahan-bahan organik oleh bakteri anaerob (tanpa oksigen). Pada dasarnya semua jenis bahan-bahan organik bisa di proses untuk menghasilkan biogas, namun demikian hanya bahan organik (padat, cair) homogen seperti kotoran dan urine (air kencing) hewan ternak yang cocok untuk sistem biogas sederhana [4].

Kandungan yang ada pada biogas meliputi :

1. Metana (CH_4) adalah gas yang digunakan sebagai bahan bakar. Gas ini tidak beracun, tidak berbau, dan lebih ringan dari udara.
2. Karbon Dioksida (CO_2) gas yang tidak berwarna, tidak berbau dan lebih berat dari udara. CO_2 merupakan gas yang agak beracun. Konsentrasi CO_2 yang lebih tinggi dalam biogas menghasilkan biogas dengan nilai kalor yang rendah.
3. Hidrogen sulfida (H_2S) gas yang tidak berwarna. Karena lebih berat dari udara H_2S berbahaya pada tempat-tempat rendah. Pada konsentrasi rendah gas ini memiliki bau khusus seperti telur busuk. Pada konsentrasi tinggi, akan lebih berbahaya karena tidak berbau. Selain itu H_2S juga bersifat korosif yang dapat menyebabkan masalah pada proses pembakaran dari biogas. Ammonia (NH_3) emisi gas yang dihasilkan dari pembakaran (NO_x). Umumnya, konsentrasi (NH_3) dalam biogas rendah.
4. Uap air, merupakan hasil tidak berbahaya, tetapi akan menjadi korosif jika berkombinasi dengan NH_3 , CO_2 dan khususnya H_2S dari biogas. Maksimum kandungan air dalam biogas di kembangkan karena temperatur gas. Bila biogas berair jenuh meninggalkan digester, dengan

pendinginan akan menghasilkan kondensasi air.[5].

2.2. Gas Emisi

Emisi Gas Buang tercipta dari proses pembakaran yang tidak sempurna pada kendaraan bermotor.

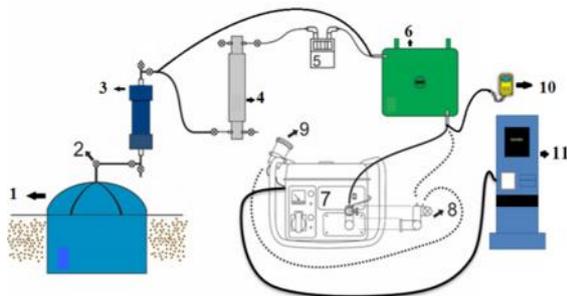
- a) Karbon Dioksida (CO_2) perpaduan yang seimbang antara bahan bakar dengan oksigen pada proses pembakaran akan menghasilkan gas CO_2 , .
- b) Karbon Monoksida (CO) adalah gas yang diperoleh dari perbandingan antara bahan bakar dan udara yang tidak seimbang. Terlalu banyak bahan bakar atau unsur C tidak dapat berikatan dengan O_2 sehingga terbentuklah CO karena proses pembakaran yang tidak sempurna.
- c) Sulfur Oksida (SO_2) Bahan bakar gasoline / bensin mengandung unsur belerang (Sulfur). Pada saat terjadi reaksi pada pembakaran, S akan bereaksi dengan H dan O untuk membentuk senyawa sulfat dan sulfur oksida.
- d) Nitrogen Oksida (NO) Gas NO terjadi akibat adanya panas yang tinggi pada proses pembakaran sehingga kandungan nitrogen bereaksi dengan udara sehingga berubah menjadi NO_x .
- e) Uap Air (H_2O) merupakan hasil dari reaksi pembakaran pada ruang bakar. Kadar air yang keluar dari ruang pembakaran mengindikasikan kualitas bahan bakar yang digunakan. Semakin besar uap air yang dihasilkan maka, semakin bersih emisi yang dihasilkan.
- f) Hidro karbon (HC) merupakan gas yang terbentuk karena pembakaran yang tidak sempurna pada ruang bakar. Aroma yang dihasilkan dari gas tersebut sangat tajam dan berwarna hitam.
- g) Timbal (Pb) Pada reaksi pembakaran, timbal tidak bereaksi dan menjadi timah hitam saat keluar dari proses pembakaran.
- h) Partikulat Partikulat dihasilkan dari residu bahan bakar yang tidak ikut terbakar pada ruang bakar dan keluar melalui gas buang kendaraan. Partikel tersebut berukuran sekitar 10 mikrometer sehingga mudah untuk masuk ke dalam saluran pernafasan. Sedangkan ukuran yang lebih kecil, dapat membuat iritasi pada mata [6].

3. Metode Penelitian

3.1. Alat dan Bahana Penelitian

1. Degester Tempat proses terbentuknya biogas yang di hasilkan dari kotoran ternak sapi yang sudah bercampur dengan air dengan proses anaerob (kedap udara).
2. *Desulfurizer* adalah sebuah alat yang digunakan sebagai pemurni biogas dari gas pengotor H_2S (*hydrogen sulfida*) yang terkandung di dalam biogas.
3. *CO₂ Remover* adalah sebuah alat yang digunakan sebagai pemurni Biogas dari zat pengotor CO_2 yang terkandung di dalam biogas.

4. *Kalsium Klorida* (CaCl_2) digunakan sebagai pemurni Biogas dari H_2O yang terkandung di dalam Biogas
5. *Bag* Biogas yang berfungsi sebagai tempat penampungan Biogas yang sudah di hasilkan dari *degester* sebelum biogas itu di gunakan.
6. Volume Meter adalah alat yang digunakan untuk mengukur seberapa banyak biogas yang mengalir ke dalam bag.
7. *Multi Gas Detector* yang berfungsi sebagai alat untuk mengukur kandungan gas. CO_2 (Karbondi oksida), CH_4 (Metana), dan H_2S (Hidrogen Sulfida).
8. Karburator dan *Mixer Fleksibel Fuels* yang berfungsi sebagai tempat bercampurnya biogas dan pelumas, atau bensin dan pelumas dengan Udara.
9. Genset Bensin adalah alat yang berfungsi untuk merubah energi mekanik menjadi energi listrik dengan bahan bakar utamanya adalah bensin yang nantinya akan di rubah menjadi genset berbahan bakar fleksibel (Bensin dan Biogas).
10. Alat Uji Emisi yang digunakan untuk mengukur berapa gas emisi yang di hasilkan oleh suatu mesin atau kendaraan yang menggunakan bahan bakar bensin



3.2. Instalasi Penelitian

Gambar 2. Rangkaian Instalasi Penelitian

Keterangan:

- | | |
|--------------------------|-------------------------------|
| 1. Digester | 7. Genset 2 tak |
| 2. Stop kran | 8. <i>Mixer chamber</i> |
| 3. <i>Desulfurizer</i> | 9. Tempat pelumas |
| 4. CO_2 Remover | 10. <i>Multi Gas Detector</i> |
| 5. Volume Meter | 11. Alat uji emisi |
| 6. <i>Bag</i> Biogas | |

3.3. Pengambilan Data

Pada Proses pengambilan data emisi gas buang mesin genset berbahan bakar fleksibel yang bisa menggunakan 2 bahan bakar berbeda (biogas, dan bensin) dilakukan dengan berapa cara, yaitu :

1. Untuk genset yang di gunakan adalah genset 2 langkah berbahan bakar bensin yang sudah di *converting* sehingga dapat menggunakan bahan bakar biogas maupun bensin, kita perlu melakukan pengecekan, dan juga pembersihan sehingga nantinya tidak

ada kendala dalam penambihan data emisi gas buang.

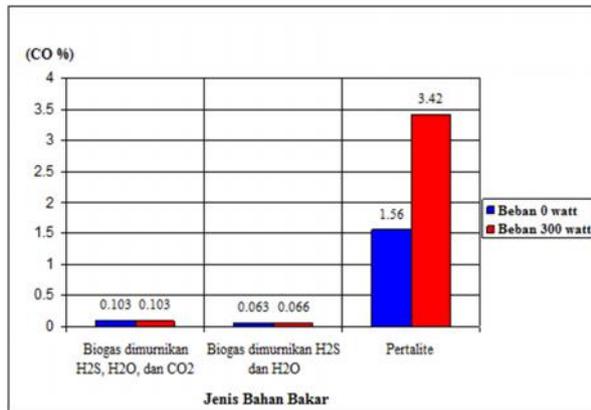
2. Untuk pengambilan bahan bakar biogas yang dimurnikan dari hidrogen sulfida (H_2S) dan uap air (H_2O), gas yang terbentuk pada *degester* dialirkan ke dalam *desulfurizer* yang berfungsi sebagai pemurni hidrogen sulfida (H_2S) dan setelah itu biogas dialirkan kedalam *bag* penyimpanan biogas yang sudah terisi *kalsium klorida* (CaCl_2) untuk memurnikan biogas dari kandungan uap air (H_2O). memastikan biogas telah termurnikan digunakan *multi gas ditektor* untuk mengukur kandungan yang terdapat pada biogas.
3. Untuk pengambilan bahan bakar biogas yang dimurnikan dari hidrogen sulfide (H_2S), uap air (H_2O), dan karbon dioksida (CO_2), gas yang terbentuk pada *degester* dialirkan menuju *desulfurizer* untuk pemurnian kandungan hidrogen sulfida H_2S pada biogas, setelah itu dialirkan kembali menuju CO_2 *remover*, sebelum sampai CO_2 *remover* biogas terlebih dahulu melewati volume meter untuk mengukur aliran biogas menuju CO_2 *remover* sebesar 3 liter/menit yang bertujuan untuk memaksimalkan pemurnian biogas dari gas karbon dioksida (CO_2), setelah melewati CO_2 *remover* biogas menuju *bag* penyimpanan yang telah terisi *kalsium klorida* (CaCl_2) untuk memurnikan biogas dari kandungan uap air (H_2O). memastikan biogas telah termurnikan di gunakan *multi gas detector* untuk mengukur kandungan yang terdapat pada biogas.
4. Untuk pengambilan data berbahan bakar bensin dilakukan dengan cara mengukur jumlah pertalite pada gelas ukur yang sudah disiapkan, lalu ditambahkan dengan pelumas mesin 2 langkah sebelum dimasukkan ke dalam tangki penampungan bahan bakar yang sudah dihubungkan dengan karburator.

Untuk pengujian emisi gas buang, dilakukan dengan cara menghubungkan alat uji emisi gas buang ke knalpot genset, lalu dilihat pada layar alat uji emisi gas buang berapa kandungan HC, CO_2 , dan CO yang dihasilkan pada masing - masing pengujian. Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali pada setiap bahan bakar dan dengan pembebanan sebesar 300 watt dan pembebanan sebesar 0 watt.

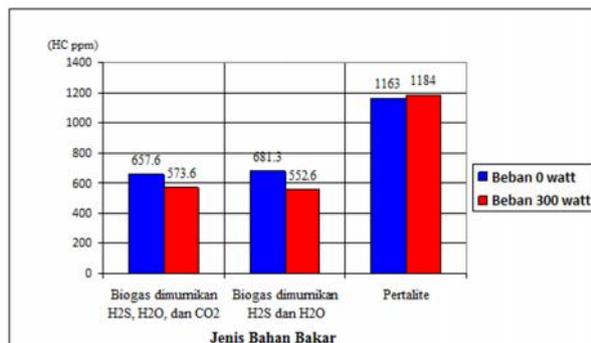
4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Hasil Penelitian

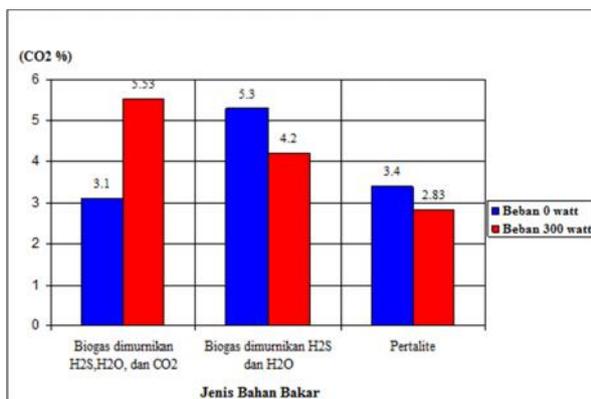
Dari peroses pengujian yang telah di lakukan sesuai dengan tahapan yang telah di tentukan maka di peroleh data hasil uji sebagai mana di sebut pada gambar berikut :



Gambar 4.1 Grafik emisi gas buang CO



Gambar 4.2 Grafik emisi gas buang HC



Gambar 4.3 Grafik Emisi Gas Buang CO₂

4.2. Pembahasan

melihat hasil rata-rata pengujian emisi gas CO pada gambar 4.1 maka setelah dianalisa mendapatkan bahwa kandungan emisi gas buang CO yang dihasilkan bahan bakar pertalite dengan pemberian beban sebesar 300 watt memperoleh hasil sebesar 3,43% di mana ini merupakan hasil tertinggi, dan bahan bakar biogas yang dimurnikan H₂S dan H₂O dengan pemberian beban sebesar 0 watt memperoleh hasil sebesar 0,063% di mana hasil ini merupakan hasil terendah. Dengan demikian di lihat dari hasil pengukuran, bahan bakar biogas lebih

ramah lingkungan di bandingkan bahan bakar pertalite sehingga layak untuk di gunakan lebih lanjut.

melihat hasil rata-rata pengujian emisi gas HC pada Gambar 4.2 maka setelah di analisa mendapatkan bahwa kandungan emisi gas buang HC pada bahan bakar pertalite dengan pemberian beban sebesar 300 watt memperoleh hasil sebesar 1184 ppm, di mana hasil ini merupakan hasil tertinggi di bandingkan bahan bakar biogas yang dimurnikan H₂S dan H₂O dengan pemberian beban sebesar 300 watt memperoleh hasil sebesar 552,6 ppm di mana hasil ini merupakan hasil terendah untuk emisi gas HC, adapun pengaruh pembebanan pada bahan bakar semakin tinggi pembebanan yang di berikan pada bahan bakar biogas maka semakin rendah emisi gas HC yang di dihasilkan ini menandakan bahwa pembakaran bahan bakar lebih sempurna, hal terbalik justru terjadi pada bahan bakar pertalite semakin tinggi di berikan pembebanan maka menghasilkan emisi gas HC semakin tinggi itu menandakan pada proses pembakaran terjadi kelebihan bahan bakar..

melihat dari rata-rata gas CO₂ pada saat pengujian yang ditunjukkan Gambar 4.3 maka, setelah di analisa mendapatkan bahwa bahan bakar biogas yang dimurnikan H₂S, H₂O, dan CO₂ dengan pemberian beban sebesar 300 watt memperoleh hasil sebesar 5,53 %, di mana hasil ini merupakan hasil tertinggi dan bahan bakar pertalite dengan pemberian beban sebesar 0 watt memperoleh hasil sebesar 2,83% di mana hasil ini merupakan yang terendah, pada biogas yang dimurnikan H₂S, H₂O, dan CO₂ semakin tinggi pembebanan maka menghasilkan CO₂ semakin besar ini membuktikan bahwa pembakaran yang terjadi semakin sempurna, tetapi pada bahan bakar biogas yang dimurnikan H₂S dan H₂O dan pertalite semakin tinggi pembebanan maka menghasilkan CO₂ semakin rendah.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian emisi gas buang pada bahan bakar Biogas yang di murnikan dari H₂S dan H₂O, Biogas yang di murnikan H₂S, H₂, dan CO₂, dan juga bensin (pertalite) pada genset 2 langkah yang sudah di *Converting* menjadi fleksibel *fuels* (biogas dan bensin) , dapat di tarik kesimpulan antara lain:

1. Biogas yang dimurnikan H₂S, dan H₂O, mengasilakan emisi CO sebesar 0,063% dan HC sebesar 681,3ppm pada saat beban 0 watt dan CO sebesar 0,066% dan HC sebesar 552,6 ppm pada beban 300 watt.
2. Biogas yang dimurnikan H₂S, H₂O, dan CO₂ mengasilkan emisi CO sebesar 0,103% dan HC sebesar 657,6 ppm pada saat beban 0 watt dan CO sebesar 0,103% dan HC sebesar 573,6 ppm pada saat beban 300 watt.

3. Peralite mengasilkan emisi CO sebesar 1,56% dan HC sebesar 1163ppm pada saat beban 0 watt dan CO sebesar 3,42% dan HC sebesar 1184 ppm pada saat beban 300 watt
4. Baik biogas yang dimurnikan H₂S, H₂O, dan CO₂ atau biogas yang dimurnikan H₂S dan H₂O merupakan bahan bakar ramah lingkungan dan baik di gunakan sebagai bahan bakar pengganti bahan bakar fosil.

Daftar Pustaka

- [1] Handayani, S. U., 2006, *Pemanfaatan Bio Ethanol Sebagai Bahan Bakar Pengganti Bensin*. Gema Teknologi, Vol 15 No.2, pp. 99-102.
- [2] Wahyuni Sri, 2013, *Biogas Energi Alternatif Pengganti Bbm, Gas, Dan Listrik*. Jakarta. Agro Media.
- [3] Wijaya, G., Nindhia, T. T., & Surata, W., 2018, *Mengubah (Converting) Mesin Genset Diesel Silinder Tunggal Menjadi Berbahan Bakar Fleksibel Biogas Atau LPG*. Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika Vol. 7 No. 2, pp. 136-142.
- [4] Hastuti, D., 2009, *Aplikasi Teknologi Biogas Guna Menunjang Kesejahteraan Petani Ternak*. Mediagro, Vol. 5 No. 1.
- [5] Arslan, A., 2008, *Kajian Teknis Energi Alternatif-Upaya Pembersihan Biogas Pengolahan Limbah Dari Gas-gas Ikutan*, Banten: Dinas Pekerjaan Umum, Kabupaten Serang.
- [6] Syahrani, A., 2006, *Analisa Kinerja Mesin Bensin Berdasarkan Hasil Uji Emisi*. SMARTek, Vol.4 No. 4.



I Wayan Agus Rantia Dana telah menyelesaikan studi program sarjana di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2016 sampai 2020. Ia menyelesaikan studi program sarjana dengan topik penelitian Uji Emisi mesin Genset 2 langkah berbahan bakar pleksibel (Biogas dan Bensin).

Pengaruh Fraksi Volume Serbuk Kayu *Green Composite* Serbuk Kayu/Getah Pinus Terhadap Karakteristik Fisik Dan Mekanik

I P Yudistira Pramana Putra, N P G Suardana dan C I P Kusuma Kencanawati
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Dalam perkembangan era globalisasi kebutuhan akan bahan baku komposit yang dapat terdegradasi oleh alam (*biodegradable*) semakin meningkat. *Green composite* merupakan komposit ramah lingkungan atau dapat terdegradasi oleh alam (*biodegradable*) karena bahan penyusunnya bersumber dari alam. Salah satu bahan yang dapat digunakan adalah serbuk kayu dan getah pinus *Merkusii*. Penelitian ini menggunakan serbuk kayu dengan ukuran 1,00 mm -2,00 mm dan matriks getah pinus yang sudah dipanaskan pada alat magnetic heated stirrer dengan suhu 170⁰C dengan holding time 10 menit dan kecepatan pengaduk 600 rpm. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh fraksi volume serbuk kayu pada *green composite* serbuk kayu/getah pinus terhadap karakteristik fisik dan mekanik. *Green composite* serbuk kayu/getah pinus menggunakan variasi fraksi volume 20% serbuk kayu : 80% getah pinus, 25% serbuk kayu : 75% getah pinus dan 30% serbuk kayu : 70% getah pinus. Pengujian kekuatan bending, pengujian densitas dan daya serap air (*water absorption*). Hasil tegangan bending tertinggi didapat pada fraksi volume 25% serbuk kayu : 75% getah pinus yaitu 6,213 MPa, regangan bending tertinggi didapat pada fraksi volume 20% serbuk kayu : 80% getah pinus yaitu 0,00538 dan modulus elastisitasnya berbanding lurus dengan tegangan bending. Densitas *green composite* dengan hasil densitas 1,023 gr/cm³ -1,071 gr/cm³ untuk nilai densitas aktual, 0,917 gr/cm³-0,978 gr/cm³ untuk nilai densitas teoritis dan nilai daya serap air (*water absorption*) tertinggi yaitu 1,983% - 4,184 %. Hasil Pengujian bending dapat dibuktikan dengan hasil pengamatan morfologi melalui Scanning Electron Microscope (SEM).

Kata kunci: Serbuk kayu, getah pinus, Fraksi volume, *green composite*

Abstract

The *biodegradable composite* ingredient necessity increases in the globalization era. *Green composite* is an eco – friendly or *biodegradable composite* since it uses natural ingredients such as sawdust and pine resin. This research analyzes 1,00 mm – 2,00 mm sawdust and pine resin matrix which has already been heated on magnetic heated stirrer in a 170⁰ C with 10 minutes of holding time and 600 rpm of stirrer rapid. The current study aims to discover the influence of sawdust volume fraction of the *green composite* – sawdust / pine resin to the physical and mechanical characteristic. The *Green Composite* – the sawdust/ pine resin uses volume fraction variation of 20% sawdust: 80% pine resin, 25% sawdust: 75% pine resin and 30% sawdust: 70% pine resin. The bending strength test, density test and the water absorption. The highest bending tension result is on the volume fraction 25% sawdust: 75% pine resin such as 6,213 MPa, the highest bending strain is on the volume fraction 20% sawdust: 80% pine resin such as 0,00538 and its elasticity modulus is in line with the bending tension. The as the result of the density 1,023 gr/cm³ – 1,071 gr/cm³ for actual density, 0,917 gr/cm³-0,978 gr/cm³ for theoretical density and the highest water absorption value is 1,983% - 4,184%. The bending test result can be proved by the result of morphology observation through a Scanning Electron Microscope (SEM).

Keywords: Sawdust, pine resin, volume fraction, *green composite*

1. Pendahuluan

Dalam perkembangan era globalisasi kebutuhan akan bahan baku komposit yang dapat terdegradasi oleh alam (*biodegradable*) dan tentunya ramah lingkungan semakin meningkat. Salah satu bahan yang dapat digunakan sebagai bahan komposit yang ramah lingkungan atau dapat terdegradasi oleh alam (*biodegradable*) adalah serbuk kayu dan getah pinus *Merkusii*. Serbuk kayu merupakan salah satu bahan yang memiliki kelebihan yaitu mudah ditemukan, tidak beracun dan tentunya murah. Serbuk kayu dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku penguat komposit yang dapat dijadikan papan partikel.

Pembuatan papam partikel pada era sekarang masih menggunakan bahan kimia *urea formaldehida*. *Urea formaldehida* digunakan karena harganya yang

murah dan mudah dicampurkan dengan berbagai jenis serat, serta dapat digunakan dalam berbagai metode seperti hand lay up, vacuum bag, press mold dan ijection mold [1]. Penggunaan *urea formaldehida* yang berlebihan memiliki dampak yaitu terjadinya emisi gas *formaldehida* yang menyebabkan pencemaran udara mulai dari bau yang tidak sedap dan gangguan pada kesehatan. Salah satu bahan yang dapat menggantikan *urea formaldehida* sebagai perekat papan partikel adalah getah pinus *Merkusii*. Pinus *Merkusii* merupakan salah satu jenis pinus yang tumbuh asli di Indonesia. Hasil dari panen getah pinus ini di Bali belum dapat dimanfaatkan secara maksimal dimana getah pinus panen setiap 15 hari sekali dan dapat menghasilkan getah sebesar 742gram setiap hari/satu pohon [2].

Pemanfaatan serbuk kayu dan getah pinus yang belum maksimal dan pentingnya merawat serta menjaga lingkungan, hal ini begitu memungkinkan untuk pengembangan pemanfaatan serbuk kayu sebagai penguat komposit dengan getah pinus sebagai matriks. Hasil dari komposit kedua material tersebut berupa papan partikel yang nantinya diharapkan mampu menjawab kebutuhan terhadap bahan komposit yang dapat terdegradasi oleh alam (*biodegradable*) dan tentunya ramah lingkungan (*green composite*).

Karakteristik dari bahan dapat diketahui dengan melakukan pengujian. Pada penelitian ini dilakukan pengujian bending untuk mengamati sifat mekanik dari *green composite* serbuk kayu/getah pinus. Pengujian densitas dan Pengujian daya serap air (*water absorption*) untuk mengamati sifat fisik, serta pengamatan SEM dilakukan untuk melihat morfologi dari *green composite* serbuk kayu/getah pinus.

2. Dasar Teori

2.1 Green Composite

Green Composite merupakan komposit alam atau komposit hijau dimana unsur-unsur penyusun dari komposit ini bersumber langsung dari alam baik penguat dan pengikat. Keunggulan dari komposit ini adalah dapat terdegradasi oleh alam atau *biodegradable*

2.2 Pengujian Bending

Pengujian bending dilakukan untuk mengetahui kekuatan bending dari suatu material. Perhitungan pengujian bending merujuk pada ASTM D790-03.

1. Tegangan bending

$$\sigma_b = \frac{3P.L}{2b.d^2} \dots\dots\dots 1$$

2. Regangan bending

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

3. Modulus Elastisitas bending

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

Keterangan :

σ_L = Tegangan bending (MPa)

P = Beban (N)

ϵ_L = Regangan Bending

δ = Defleksi Benda Uji (mm)

E_L = Modulus Elastisitas Bending (MPa)

L = Panjang jarak tumpuan (mm)

b = Lebar benda uji (mm)

d = Tebal benda uji (mm)

m = Tangen garis lurus pada Load Deflection Curve (N/mm)

2.3 Pengujian Densitas Dan Daya Serap Air (*Water Absorption*)

Pengujian densitas merujuk pada penelitian Susila, 2018 [3] dan daya serap air (*water*

absorption) merujuk pada ASTM D570-98. Pengujian densitas dilakukan untuk mengetahui kerapatan suatu material dan daya serap air (*water absorption*) dilakukan untuk mengetahui kemampuan material dalam menyerap air.

1. Perhitungan Uji Densitas Aktual Dan Teoritis

$$\rho = \frac{ms}{mb-(mg-mk)} \times \rho \text{ aquades} \dots\dots\dots 4$$

$$\rho = (\text{fraksi volume penguat} \times \rho \text{ penguat}) + (\text{fraksi volume matriks} \times \rho \text{ matriks}) \dots\dots\dots 5$$

Keterangan :

ρ = Densitas Sampel

mk = Massa kawat (gr)

ms = Massa Spesimen tanpa kawat di udara (gr)

mg = Massa Spesimen yang digantung dengan kawat saat di dalam air (gr)

mb = Masa Spesimen basah (gr)

2. Perhitungan Uji Daya Serap Air (*water absorption*)

$$WA = \frac{mB-mK}{mK} \times 100\% \dots\dots\dots 6$$

Keterangan :

WA = Daya serap air (*water absorption*) (%)

mB = massa basah dari spesimen uji (gr)

mK = massa kering dari spesimen uji (gr)

2.4 Pengamatan SEM

Pengamatan SEM dilakukan dengan dua kali pembesaran yaitu 50x dan 150x. pengamatan SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi dari Green Composite Serbuk Kayu/Getah Pinus terhadap kekuatan bending spesimen

3. Metode Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan alat dan bahan sebagai berikut:

3.1 Alat Penelitian

Alat Keselamatan Kesehatan Kerja (Masker, Sarung Tangan Karet, Sarung Tangan Kain), Alat ukur (*Stopwatch*, Timbangan Digital, *Beaker*), Alat bantu (*Magnetic Heated Stirrer*, Besi Pengaduk, Aluminiumn Foil), Alat Cetak (cetakan kayu dengan ukuran sesuai dengan ASTM), Alat Uji (Alat Uji Bending ASTM D790-03, Uji Daya Serap Air, Timbangan Uji Densitas dan SEM), dan Alat Pembersih (Lap Tangan, Minyak Goreng, Kuas).

3.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu, Penguat: Serbuk kayu yang didapatkan dari proses penggergajian kayu pada industri pengolahan kayu dengan ukuran 10 *mesh* dan 18 *mesh* (1,00mm – 2,00mm). LimbahXserbuk kayu selanjutnya dicuci menggunakan aquades lalu ditiriskan dan

dikeringkan dibawah sinar matahari selama 24 jam dan dioven dengan temperatur 70°C dengan waktu pengecekan selama 20 menit sampai berat serbuk kayu konstan dan Matriks: Getah pinus (*Pinus Mersukii Jungh et deVries*) dipanaskan pada mesin *Magnetic Heated Stirrer* hingga mencapai suhu 170°C dengan kecepatan pengaduk *magneticxstirrer* 600rpm dan *holdingxtime* 10 menit.

3.3 Komposisi Bahan *Green Composite*

Komposisi bahan *green composite* serbuk kayu/getah pinus dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Bahan

Variasi Fraksi Volume (%)	Serbuk Kayu (gr)	Getah Pinus (gr)
20 : 80	1,2349	11,088
25 : 75	1,5435	10,395
30 : 70	1,8522	9,702

3.4 Proses Pembuatan *Green Composite*

Berikut langkah-langkah proses pencetakan partikel *green composite* :

1. Getah pinus dan serbuk kayu ditimbang dua kali lipat dari fraksi volume yang akan dibuat
2. Getah pinus dipanaskan pada mesin *magnetic stirrer* hingga mencapai suhu 170°C dengan *holding time* 10 menit dengan kecepatan pengaduk 600 rpm
3. Setelah mencapai temperatur 170°C kecepatan pengaduk diatur ke 0 rpm (mati) dan tetap pertahankan panas dari getah pinus
4. Getah pinus yang masih panas dicampurkan dengan serbuk kayu dan diaduk sampai getah pinus dan serbuk kayu tercampur dengan rata
5. Campuran getah pinus dan serbuk kayu dimasukan ke dalam cetakan yang sudah dilapisi dengan aluminium foil lalu ditekan dengan tekanan sebesar 5 kg agar campuran dapat masuk merata dan sesuai dengan ukuran cetakan.
6. Untuk variasi spesimen yang diuji, ulangi langkah dari awal.
7. Setelah kering, papan partikel *green composite* dikeluarkan dari cetakan secara perlahan
8. Potong spesimen uji sesuai ASTM apabila ada campuran spesimen yang keluar dari cetakan pada saat penekanan.
9. Papan partikel *green composite* yang kering siap untuk diuji



Gamba 1. Spesimen Uji Bending

4. Hasil dan Pembahasan

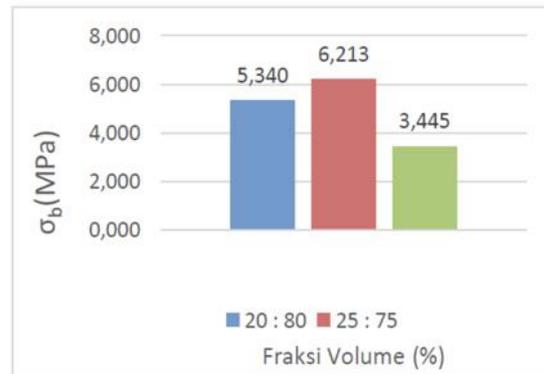
4.1 Uji Bending

Pengujian Bending dilakukan menggunakan tiga sampel dalam setiap variasi fraksi volume.



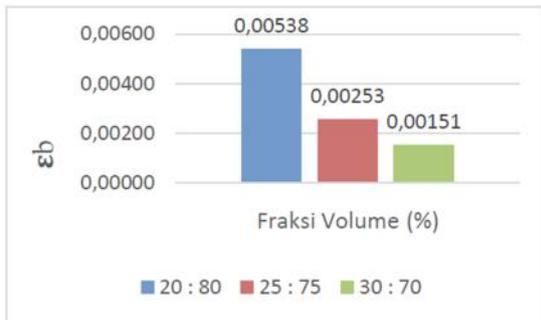
Gambar 2. Pengujian Bending

Hasil yang diperoleh pada pengujian bending dihitung menggunakan persamaan yang ada pada ASTM D790-03 dan hasil yang didapat dilihat pada grafik rata-rata kekuatan tegangan, regangan dan modulus elastisitas bending pada spesimen.



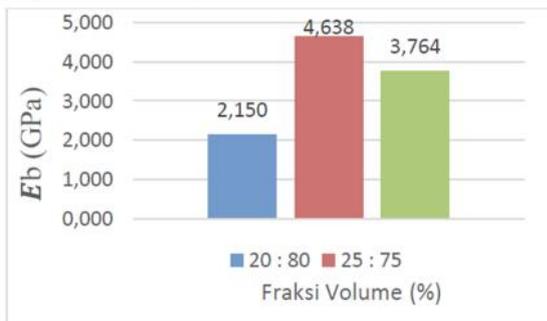
Gambar 3. Grafik Tegangan Bending

Hasil yang ditunjukkan pada grafik tegangan bending (Gambar 3) menunjukkan bahwa pada spesimen fraksi volume 25% serbuk kayu dengan 75% getah pinus mendapatkan hasil tegangan tertinggi, hal ini disebabkan karena pada fraksi volume ini ikatan antara serbuk kayu dengan getah pinus terjadi ikatan dan distribusi yang homogen sehingga spesimen mampu menerima pembebanan dengan merata. Sedangkan pada spesimen dengan fraksi volume 30% serbuk kayu dengan 70% getah pinus nilai dari tegangan bending mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena pola ikatan dan distribusi dari penguat dengan matrik tidak terjadi secara merata dan terjadi pull out atau tidak semua penguat dapat diikat dengan baik oleh matrik [4].



Gambar 4. Grafik Regangan Bending

Pada grafik regangan bending (Gambar 4) nilai regangan bending tertinggi didapatkan pada perbandingan fraksi volume 20% serbuk kayu dengan 80% getah pinus dan nilai regangan terendah didapatkan pada perbandingan fraksi volume 30% serbuk kayu dengan 70% getah pinus. Dalam penelitian ini semakin meningkat fraksi volume serbuk kayu maka nilai regangan bending semakin turun. Rendahnya regangan dikarenakan material penguat (serbuk kayu) kaku.



Gambar 5. Grafik Modulus Elastisitas

Pada grafik modulus elastisitas bending (Gambar 5) dapat dilihat bahwa pada perbandingan fraksi volume 20% serbuk kayu dengan 80% getah pinus merupakan nilai modulus elastisitas terkecil. Perbandingan fraksi volume 25% serbuk kayu dengan 75% getah pinus nilai modulus elastisitas tertinggi.

Dalam penelitian ini menunjukkan bahwa nilai modulus elastisitas berbanding lurus dengan nilai tegangan bending dan berbanding terbalik dengan nilai regangan bending. Ini membuktikan bahwa nilai modulus elastisitas dipengaruhi oleh tinggi rendahnya nilai tegangan dan regangan bending.

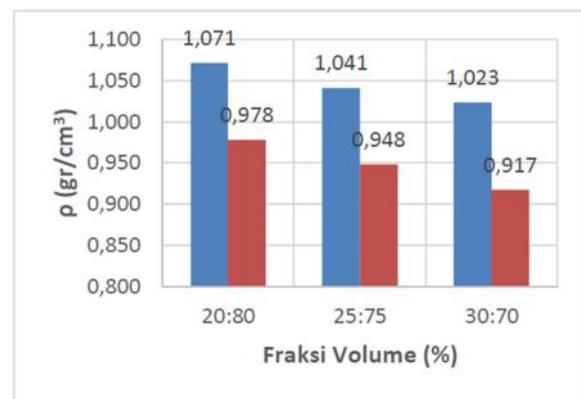
4.2 Uji Densitas

Pengujian Densitas menggunakan tiga sampel pada setiap perbandingan fraksi volume untuk densitas actual sedangkan untuk densitas teoritis dapat dicari dengan mengalikan fraksi volume dengan massa jenis bahan.



Gambar 6. Pengujian Densitas

Hasil yang diperoleh pada pengujian dapat dilihat pada grafik (Gambar 7) sebagai berikut :



Gambar 7. Grafik Densitas

Terdapat perbedaan antara densitas actual dan densitas teoritis hal ini terjadi kerana densitas dipengaruhi ρ pembanding yaitu ρ fluida cair dan ρ udara. Pengujian densitas actual yang menggunakan aquades sebagai fluida cair dapat mempengaruhi nilai densitas dari *green composite* sehingga terjadi perbedaan nilai densitas actual dan nilai densitas teoritis.

Nilai yang dihasilkan dari pengujian densitas secara actual dan teoritis menunjukkan bahwa semakin meningkatnya fraksi volume serbuk kayu maka densitas dari *green composite* serbuk kayu/getah pinus semakin menurun. Penyebab turunnya nilai densitas karena meningkatnya volume dari serbuk kayu. Dalam penelitian ini didapatkan densitas serbuk kayu sebagai penguat sebesar 0,49 gr/cm³ sedangkan nilai densitas dari getah pinus sebagai pengikat sebesar 1,1 gr/cm³.

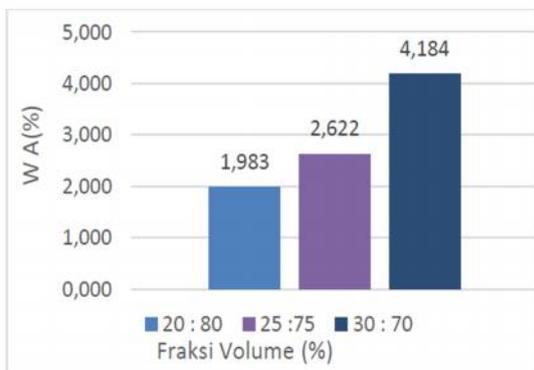
4.3 Uji Daya Serap Air (Water Absorption)

Pengujian daya serap air (*water absorption*) dilakukan dengan menggunakan ASTM D570-98 sebagai acuan dalam pengolahan data.



Gambar 8. Pengujian Daya Serap Air

Data hasil pengujian daya serap air (*water absorption*) *green composite* serbuk kayu/getah pinus dapat dilihat pada grafik (Gambar 9).



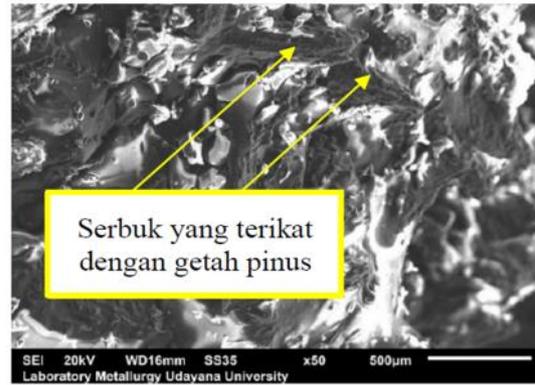
Gambar 9. Grafik Daya Serap Air (*Water Absorption*)

Pengujian serap air (*water absorption*) dilakukan dengan menimbang massa kering, dan massa basah *green composite* serbuk kayu/getah pinus. Gambar 9 menunjukkan nilai serap air (*water absorption*) rata-rata pada setiap variasi fraksi volume. Nilai serap air (*water absorption*) terkecil ditunjukkan pada spesimen dengan variasi fraksi volume 20 % serbuk kayu : 80% getah pinus dengan nilai 1,983% sedangkan nilai serap air (*water absorption*) terbesar ditunjukkan pada variasi fraksi volume 30% serbuk kayu : 70% getah pinus dengan nilai 4,184%.

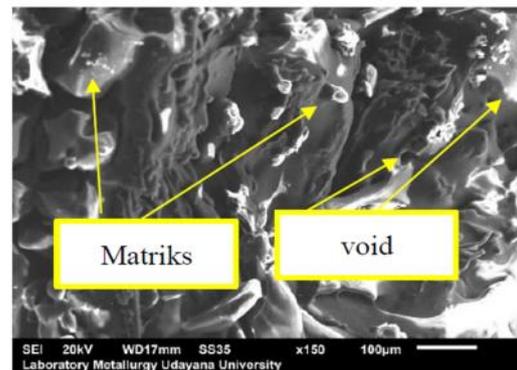
Naiknya nilai daya serap air (*water absorption*) ini disebabkan karena naiknya volume dari serbuk kayu. Menurut Dhaka et. al dalam Lokantara (2009) semakin naik fraksi volume penguat pada komposit akan meaikan nilai daya serap air (*water absorption*). Begitu pula kualitas ikatan matriks (getah pinus) dengan penguat (serbuk kayu) membuat adanya celah atau rongga yang membuat air dapat masuk ke dalam spesimen [5].

4.4 Pengamatan SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Pengamatan SEM dilakukan untuk melihat kondisi permukaan (morfologi) *green composite* serbuk kayu/getah pinus. Pengamatan morfologi *biocomposite* melalui SEM dilakukan dengan pembesaran 50x dan 150x.



Gambar 10. Spesimen 25%:75% Pembesaran 50x



Gambar 11. Spesimen 25%:75% Pembesaran 150x

Hasil pengamatan SEM membuktikan bahwa *Green Composite* serbuk kayu/getah pinus masih terdapat void yang ditunjukkan pada Gambar 11 ini menunjukkan kualitas dari ikatan serbuk kayu dengan getah pinus masih kurang bagus. Kualitas ikatan antara serbuk kayu dengan getah pinus dari *green composite* serbuk kayu/getah pinus mempengaruhi tegangan bending, regangan bending dan modulus elastisitas bending dari *green composite* serbuk kayu/getah pinus.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pengaruh fraksi volume serbuk kayu *green composite* serbuk kayu/getah pinus terhadap karakteristik fisik dan mekanik, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan nilai tegangan, regangan dan modulus elastisitas dari pengujian bending tidak sepenuhnya dipengaruhi oleh peningkatan volume serbuk kayu sebagai penguat tetapi juga dapat dipengaruhi kualitas ikatan antara serbuk kayu dengan getah pinus.
2. Pada penelitian ini pengujian densitas menunjukkan bahwa secara aktual maupun teoritis semakin tinggi volume dari serbuk kayu maka nilai densitas semakin rendah.
3. Pengujian daya serap air (*water absorption*) menunjukkan bahwa semakin tinggi volume serbuk kayu maka nilai serap air (*water absorption*) akan semakin tinggi.

4. Pengamatan SEM yang dilakukan dengan pembesaran 50x dan 150x pada *green composite* serbuk kayu/getah pinus menunjukkan bahwa semakin tinggi fraksi volume serbuk kayu ikatan yang terbentuk menjadi kurang baik menyebabkan terjadinya void yang dapat mempengaruhi karakteristik *green composite* serbuk kayu/getah pinus

Daftar pustaka

- [1] Hariani, Sri Endah Susilo Wati, 2017. ***Pengaruh Kekuatan Bending Dan Tarik Bahan Komposit Berpenguat Sekam Padi Dengan Matrik Urea Formaldehida.*** Jurnal Ilmiah Widya Eksakta, Vol 1 No 1, pp 56-61.
- [2] I Made Parnata, Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati, I Made Parwata, 2019. ***Pengaruh Variasi Persentase Hardener MEKPO Terhadap Kekuatan Bending Dan Densitas Pada Bioresin Getah Pinus (Pinus Merkusii).*** Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika, Vol 8 No.1, pp. 432-436.
- [3] Susila I.M., N.P.G. Suardana., C.I.P.K. Kencanawati, Thanaya. I.N.A., Adnyana. I.W.B, 2018. ***The Effect Of Composition Of Plastic Waste Low Density Polyethylene (LDPE) with Sand Pressure Strength and Density of Sand/LDPE Composite.*** IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Vol. 593 No.1, pp 1-6.
- [4] Sunardi, Moh. Fawid, Rina Lusiani, Rumondang Parulian, 2017. ***Pengaruh Butiran Filler Kayu Sengon Terhadap Karakteristik Papan Partikel Yang Berpenguat Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit.*** Jurnal Mesin Teknologi (Sintek Jurnal), Vol 11 No 1, pp. 28-32.
- [5] Lokantara Putu, N.P.G. Suardana, 2009, ***Studi Perlakuan Serat Serta Penyerapan Air Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Tapis Kelapa/Polyester.*** Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakram, Vol.3 No 1, pp. 49-56.



I Putu Yudistira Pramana Putra menyelesaikan studi SMA di SMA (SLUA) Saraswati 1 Denpasar pada tahun 2016 dan melanjutkan studi S1 di Universitas Udayana pada Program Studi Teknik Mesin, dan dapat menyelesaikan studi S1 pada tahun 2020.

Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik polimer komposit.

Pengaruh Penambahan Lem PVAc 20% Pada *Biocomposite* Serbuk Kayu/Lem PVAc/Getah Pinus Terhadap Karakteristik Fisik Dan Mekanik

I Kadek Hendra Dinata, N.P.G. Suardana dan C.I.P. Kusuma Kencanawati
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Limbah kayu yang berupa serbuk hampir tidak dimanfaatkan secara optimal, dalam menyasiasi hal tersebut maka perlu dikembangkan untuk bahan baku pembuatan furniture agar dalam pembuatan yang menggunakan bahan baku kayu utuh sebagai bahan baku utama yang menghasilkan limbah kayu yang berupa serbuk kayu juga dapat dimanfaatkan dalam pembuatan papan partikel. Oleh karena itu, peneliti menggunakan bahan-bahan yang dapat terdegradasi oleh alam (*biodegradable*) yaitu menggunakan serbuk kayu berukuran 1,00 – 2,00 mm sebagai penguat dengan pengikat lem PVAc dan getah pinus yang sudah dilakukan *heat treatment* dengan menggunakan temperatur 170°C dengan *holding time* 10 menit. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan lem PVAc 20% pada *biocomposite* serbuk kayu/lem PVAc/getah pinus terhadap karakteristik fisik dan mekanik. *Biocomposite* serbuk kayu/lem PVAc/getah pinus menggunakan perbandingan fraksi volume 20% : 20% : 60%, 25% : 20% : 55%, dan 30% : 20% : 50% dengan tetap konstan di lem PVAc sebesar 20%. Proses pembuatan *biocomposite* menggunakan metode *hand lay-up* dalam pengerjaannya dan menggunakan beberapa ASTM sebagai acuan, seperti ASTM D790-033 untuk kekuatan bending dan ASTM D570-988 untuk daya serap air. Pengujian kekuatan bending dengan hasil nilai tegangan bending terbesar 9,545 MPa pada *biocomposite* dengan perbandingan 30% : 20% : 50% dan yang terendah 4,742 MPa pada *biocomposite* dengan perbandingan 20% : 20% : 60%, berbanding lurus dengan nilai modulus elastisitas sedangkan berbanding terbalik dengan hasil regangan bending. Hasil uji kekuatan bending ini dapat dibuktikan dengan hasil uji morfologi melalui *Scanning Electron Microscope* (SEM). Hasil uji densitas nilainya berkisaran antara 1,034 gr/cm³ - 1,068 gr/cm³ dan untuk hasil uji daya serap air (*water absorption*) nilainya berkisaran antara 6,190 % - 7,505 %.

Kata kunci: *Biocomposite*, Serbuk Kayu, Lem PVAc, Getah Pinus

Abstract

Wood waste that is in form of sawdust almost cannot be utilized optimally, to get around this case therefore we need to develop it for main material in the production of furniture so that in the production where they utilize raw wood as the main material that causes wood waste in form of sawdust can also be utilized in the making of particle board. Therefore, researchers use *biodegradable* material such as using sawdust measuring 1,00 – 2,00 mm as reinforcement with PVAc glue and pine resin as binder that has been heat treated by a temperature of 170°C with 10 minute of holding time. This research was made to discover the effect of adding 20% PVAc glue to sawdust *biocomposite*/PVAc glue/pine resin on its physical and mechanical characteristic. Sawdust *biocomposite*/PVAc glue/Pine resin using fraction comparisons volume of 20% : 20% : 60%, 25% : 20% : 55%, and 30% : 20% : 50% by constantly using 20% of PVAc glue. The process of producing *biocomposite* uses *hand lay-up* in the process and utilizes several ASTM as reference, such as ASTM D790-03 for bending strength and ASTM D570-98 for water absorption. Bending strength with the result of the highest bending stress value of 9,545 MPa on *biocomposite* with a ratio of 30% : 20% : 50% and the lowest is 4,742 MPa on *biocomposite* with a ratio of 20% : 20% : 60%, is directly proportional to the modulus of elasticity while inversely proportional to the bending strain results. This bending strength test results can be proven with morphological test results through *Scanning Electron Microscope* (SEM). The density test results range between 1,034 gr/cm³ – 1,068 gr/cm³ and the water absorption results range between 6,190 % - 7,505 %.

Keywords: *Biocomposite*, Sawdust, PVAc Glue, Pine Resin

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi komposit tidak hanya pada komposit sintesis, akan tetapi juga mengarah pada komposit alam (*biocomposite*). Salah satu bahan yang dapat digunakan sebagai bahan komposit alam (*biocomposite*) adalah serbuk kayu, lem PVAc, dan getah *Pinus Merkusii*.

Setelah pemotongan kayu utuh menjadi furniture, kayu kerap kali menghasilkan limbah yang berupa serbuk kayu, maka dari itu perlu dilakukan pengembangan untuk memanfaatkan limbah serbuk kayu menjadi papan partikel yang lebih memiliki

nilai ekonomi. Selain serbuk kayu, lem PVAc, dan getah pinus juga sangat berperan dalam pembuatan *biocomposite* karena memiliki fungsi untuk mengikat serat alam. Pohon *Pinus Merkusii* di Bali tepatnya di Kawasan KPH Bali Timur Provinsi Bali, dengan jumlah pohon pinus yang dimiliki sebanyak ± 133.000 pohon dengan jumlah getah yang dihasilkan oleh setiap pohonnya yaitu sebanyak 7,42 gram/hari/pohon. Namun, getah pinus hanya dapat dipanen selama 15 hari sekali [1]. Namun, di Bali pemanfaatan pohon pinus belum maksimal, padahal hasil panen getah pinus dalam setahun cukup besar.

Mengingat pemanfaatan serbuk kayu dan getah pinus yang belum maksimal, hal ini sangat memungkinkan untuk dilakukan penelitian terkait dengan pemanfaatan getah pinus dan lem PVAc sebagai matrik *biocomposite* dengan penguat serbuk kayu. Berdasarkan permasalahan diatas, maka penelitian ini memiliki beberapa rumusan masalah, sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penambahan lem PVAc 20% pada *biocomposite* serbuk kayu/lem PVAc/getah pinus terhadap karakteristik mekanik (kekuatan bending)?
2. Bagaimana pengaruh penambahan lem PVAc 20% pada *biocomposite* serbuk kayu/lem PVAc/getah pinus terhadap karakteristik fisik (densitas dan daya serap air (*water absorption*))?
3. Bagaimana (morfologi) permukaan dari *biocomposite* serbuk kayu/lem PVAc/getah pinus?

Adapun batasan-batasan masalah dari penelitian ini adalah penelitian ini menggunakan jenis getah Pinus *Merkusii Jungh. Et de Vries* yang tumbuh di hutan KPH Bali Timur, dan dilakukan heat treatment getah pinus menggunakan suhu sebesar 170°C dengan kecepatan pengaduk pada saat *heat treatment* getah pinus sebesar 600 rpm dengan *holding time* selama 10 menit, dengan mengabaikan hasil uap dan terpentin pada saat heat treatment. Jenis dan karakteristik dari serbuk kayu yang digunakan dalam penelitian ini di asumsikan sama dan ukuran serbuk kayu yang digunakan sebesar 1,00 mm – 2,00 mm

2. Dasar Teori

2.1 Biocomposite

Biocomposite didefinisikan sebagai bahan yang dihasilkan oleh dua atau lebih bahan yang digabungkan yang dapat terdegradasi oleh alam (*biodegradable*). Bahan penyusun *biocomposite* terdiri dari polimer alami atau *biofiber* (serat alami) yang dapat terdegradasi oleh alam sebagai penguat dan polimer atau *bioresin* yang dapat terdegradasi (*biodegradable*) sebagai matriks.

2.2 Uji Bending

Pengujian spesimen terhadap kekuatan bending dapat dilakukan untuk mengetahui tegangan bending, regangan bending, modulus elastisitas sehingga dapat mengetahui karakteristik mekanik dari *biocomposite*. Spesimen kekuatan bending dipotong sesuai dengan ukuran ASTM D790-03 dan menggunakan persamaan sebagai berikut:

- A. Tegangan bending

$$\sigma_b = \frac{3P.L}{2b.d^2} \quad (1)$$

- B. Regangan bending

$$b = \frac{6\delta . d}{L^2} \quad (2)$$

- C. Modulus Elastisitas bending

$$E_b = \frac{L^3 . m}{4b . d^3} \quad (3)$$

Keterangan:

σ_L = Tegangan bending (MPa)

P = Beban (N)

ϵ_L = Regangan Bending

δ = Defleksi Benda Uji (mm)

E_L = Modulus Elastisitas Bending (MPa)

L = Panjang jarak tumpuan (mm)

b = Lebar benda uji (mm)

d = Tebal benda uji (mm)

m = Tangen garis lurus pada Load Deflection Curve (N/mm)

2.3 Uji Densitas

Pengujian densitas dilakukan untuk mengetahui massa jenis *biocomposite* dan untuk mengetahui karakteristik fisik pada *biocomposite*. Dalam pengujian ini menggunakan persamaan yang ada pada penelitian Susila [2] sebagai berikut :

$$\rho = \frac{ms}{mb - (mg - mk)} \times \rho_{aquades} . \quad (4)$$

Keterangan:

ρ = Densitas Sampel

mk = Massa kawat (gr)

ms = Massa Spesimen tanpa kawat di udara (gr)

mg = Massa Spesimen yang digantung dengan kawat

saat di dalam air (gr)

mb = Masa Spesimen basah (gr)

2.4 Uji Daya Serap Air (*Water Absorption*)

Pengujian Daya Serap Air (*water absorption*) untuk menyatakan kemampuan papan partikel untuk menyerap air selama 24 jam dengan menggunakan ASTM D570-98 sebagai acuan pengujian. Serta mengetahui karakteristik fisik yang dimiliki oleh *biocomposite* serbuk kayu/lem PVAc/getah pinus sebagai papan partikel.

$$WA = \frac{mB - mI}{mI} \times 100\% \quad (5)$$

Keterangan :

WA = Daya serap air (*water absorption*) (%)

mB = Massa basah dari spesimen uji (gr)

mK = Massa kering dari spesimen uji (gr)

2.5 SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Pengamatan SEM dilakukan untuk mengetahui kondisi permukaan (morfologi) *biocomposite* serta mendukung hasil yang didapatkan pada pengujian kekuatan bending dengan pembesaran SEM yang dilakukan sebesar 50x dan 150x.

3. Metode Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan alat dan bahan sebagai berikut:

3.1 Alat Penelitian

Penggunaan alat-alat dalam penelitian ini dapat dikelompokkan menjadi enam yaitu, Alat Keselamatan Kesehatan Kerja (Masker, Sarung Tangan Karet, Sarung Tangan Kain), Alat ukur (*Stopwatch*, Timbangan Digital, *Beaker*), Alat bantu (*Magnetic Heated Stirrer*, Besi Pengaduk, Aluminium Foil), Alat Cetak (cetakan kayu dengan ukuran sesuai dengan ASTM), Alat Uji (Alat Uji Bending, Uji Daya Serap Air, Timbangan Uji Densitas, dan SEM), dan Alat Pembersih (Lap Tangan, Minyak Goreng, Kuas).

3.2 Bahan Penelitian

Adapun bahan yang digunakan yaitu, Penguat (serbuk kayu yang didapatkan dari proses penggergajian kayu pada industri kayu dengan ukuran 1,00mm – 2,00mm), dan Matrik (Getah Pinus *Mersuki Jungh et de Vries*) dipanaskan pada mesin *Magnetic Heated Stirrer* hingga suhu 170°C dengan kecepatan pengaduk *magnetic stirrer* 600rpm dan *holding time* 10 menit dan lem PVAc merk (FOX).

3.3 Proses Pengolahan Serbuk Kayu

Adapun proses pengolahan serbuk kayu yang dilakukan yaitu : serbuk kayu yang didapatkan selanjutnya dicampur dan diayak menggunakan ayakan 10 dan 18 mesh sehingga serbuk kayu berukuran 1,00 mm – 2,00 mm kemudian limbah serbuk kayu selanjutnya dicuci menggunakan aquades lalu ditiriskan dan dikeringkan dibawah sinar matahari selama 24 jam kemudian oven dengan temperatur 70°C dan waktu pengecekan selama 20 menit sampai berat serbuk kayu konstan.



Gambar 1. Serbuk Kayu

3.4 Komposisi Bahan *Biocomposite*

Perhitungan komposisi bahan *Biocomposite* dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

A. Volume cetakan :

$$V_c = p \times l \times t \quad (6)$$

B. Volume Bahan :

$$V_b = F_v \times V_c \quad (7)$$

C. Massa serbuk kayu :

$$m_b = \rho_b \times V_b \quad (8)$$

Keterangan :

$$V_c = \text{Volume cetakan (cm}^3\text{)}$$

$$V_b = \text{Volume bahan (cm}^3\text{)}$$

$$F_v = \text{Fraksi Volume bahan (\%)}$$

$$m_b = \text{massa bahan (gr)}$$

$$\rho_b = \text{densitas bahan (gr/cm}^3\text{)}$$

Berikut komposisi bahan yang didapatkan sesuai dengan perbandingan fraksi volume yang digunakan pada *Biocomposite* :

Tabel 1. Komposisi Bahan-Bahan

Perbandingan Fraksi Volume (%)	ρ Serbuk Kayu (gr/cm ³)	ρ Lem PVAc (gr/cm ³)	ρ Getah Pinus (gr/cm ³)	Serbuk Kayu (gram)	Lem PVAc (gram)	Getah Pinus (gram)
20 : 20 : 60	0,49	1,05	1,1	1,235	2,646	8,316
25 : 20 : 55	0,49	1,05	1,1	1,544	2,646	7,623
30 : 20 : 50	0,49	1,05	1,1	1,852	2,646	6,93

3.5 Proses Pembuatan *Biocomposite*

Berikut langkah-langkah proses pencetakan papan partikel *Biocomposite* serbuk kayu/lem PVAc/getah pinus :

1. Serbuk kayu dan lem PVAc diukur massa jenisnya dengan menggunakan piknometer dan timbangan
2. Serbuk kayu ditimbang dua kali lipat dari ukuran perbandingan fraksi volume yang didapatkan
3. Getah pinus ditimbang dua kali lipat dalam gelas ukur dan dipanaskan dengan menggunakan mesin *magnetic stirrer* hingga mencapai suhu 170°C dengan *holding time* 10 menit dengan kecepatan pengaduk *magnetic stirrer* 600 rpm



Gambar 2. Pemanasan Getah Pinus

4. Setelah getah pinus bertemperatur 170°C kecepatan pengaduk diatur ke 0 rpm (mati) dan tetap pertahankan panas dari getah pinus
5. Lem PVAc ditimbang dua kali lipat diatas mangkok yang digunakan untuk mengaduk dan dicampur dengan serbuk kayu yang sudah ditimbang hingga merata sebelum dituangkan getah pinus yang sudah dilakukan *heat treatment*



Gambar 3. Campuran Serbuk dan Lem PVAc

6. Serbuk kayu, lem PVAc dan getah pinus dicampurkan dalam satu tempat dengan tetap mempertahankan temperatur agar getah pinus tidak mengeras hingga semua bahan tercampur merata



Gambar 4. Pencampuran Bahan

7. Serbuk kayu, lem PVAc dan getah pinus yang sudah dicampurkan, dituangkan ke dalam cetakan yang sudah dilapisi dengan aluminium

foil lalu ditekan dengan tekanan sebesar 5 kg agar campuran dapat masuk merata

8. Spesimen dilakukan pemotongan sesuai ASTM apabila ada campuran spesimen yang keluar saat dilepaskan dari cetakan ketika diberikan tekanan sebesar 5 kg



Gambar 5. Spesimen Biocomposite

9. Langkah-langkah dari awal diulang untuk variasi spesimen uji
10. Papan partikel *biocomposite* yang kering siap untuk diuji.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Uji Bending

Pengujian bending dilakukan di Lab. Metalurgi Universitas Udayana. Alat yang digunakan untuk uji bending yaitu alat uji mekanik tensilon RTG 1250 dengan menggunakan ASTM D790-03.



Gambar 6. Pengujian Bending

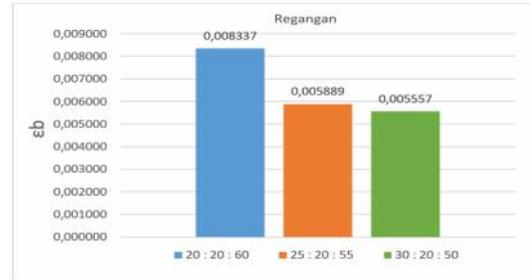
Hasil setelah dilakukan pengujian dapat dihitung menggunakan persamaan yang ada pada ASTM D790-03, dengan hasil yang didapat kemudian data-data diplotkan kedalam bentuk grafik batang untuk menggambarkan nilai rata-rata bending pada spesimen sebagai berikut :



Gambar 7. Grafik Tegangan Bending

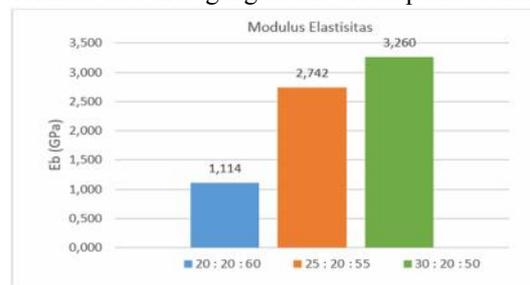
Berdasarkan grafik tegangan bending (Gambar 7) diatas menunjukkan bahwa dengan penambahan lem PVAc 20% pada pengikat *biocomposite* serbuk kayu/lem PVAc/getah pinus memiliki hasil tegangan bending yang meningkat. Meningkatnya nilai rata-rata tegangan bending ini disebabkan karena dengan penambahan lem PVAc 20% pada pengikat *biocomposite* diperbandingkan fraksi volume 30% serbuk kayu dan 20% lem PVAc dengan 50% getah pinus membuat terjadinya komposisi bahan seimbang antara pengikat dan penguat atau ikatan yang kuat sehingga *biocomposite* mampu menerima pembebanan dengan merata. Sedangkan dengan penambahan lem PVAc 20% pada pengikat

biocomposite fraksi volume 20% serbuk kayu, 20% lem PVAc dan 60% getah pinus tegangan bending mengalami penurunan yang disebabkan karena terlalu dominan pengikat yang menyebabkan spesimen terlalu lentur yang membuat penguat serbuk kayu kurang mampu menerima pembebanan.



Gambar 8. Grafik Regangan Bending

Pada grafik regangan bending (Gambar 8) nilai rata-rata regangan bending mengalami penurunan. Menurunnya nilai regangan bending ini disebabkan dengan penambahan lem PVAc 20% pada pengikat *biocomposite* diperbandingkan fraksi volume 30% serbuk kayu dan 20% lem PVAc dengan 50% getah pinus terjadi kuatnya ikatan antara pengikat dan penguat. Semakin kuat ikatan atau komposisi bahan yang seimbang maka regangan yang terjadi akan semakin kecil. Sehingga dengan penambahan lem PVAc 20% pada *biocomposite* diperbandingkan fraksi volume 20% serbuk kayu : 20% lem PVAc : 60% getah pinus mengalami peningkatan karena lebih lentur atau lemahnya ikatan antara pengikat dan penguat sehingga akan lebih mudah mengalami deformasi atau meregang ketika diberi pembebanan.



Gambar 9. Grafik Modulus Elastisitas

Pada grafik modulus elastisitas (Gambar 9) mengalami peningkatan. Meningkatnya nilai modulus elastisitas bending dengan penambahan lem PVAc 20% pada persentase pengikat *biocomposite* yang sesuai dengan persentase penguat serbuk kayu, membuat pengikat dan penguat terdistribusi merata atau ikatan yang kuat sehingga memiliki kekakuan pada daerah elastis yang menerima pembebanan, sehingga semakin tinggi nilai modulus elastisitasnya, maka semakin kecil nilai regangan bending yang terjadi apabila diberi pembebanan atau dapat dikatakan berbanding terbalik dengan nilai regangan bending.

4.2 Uji Densitas

Pengujian Densitas menggunakan tiga sampel pada setiap perbandingan fraksi volume. Pengujian

densitas dilakukan dengan perhitungan yang mengacu pada penelitian Susila [2].



Gambar 10. Pengujian Densitas

Hasil dari perhitungan data pengujian densitas menggunakan persamaan 2.4 kemudian diplotkan kedalam bentuk grafik batang untuk menggambarkan nilai rata-rata densitas yang didapatkan pada *biocomposite* serbuk kayu/lem PVAc/getah.



Gambar 11. Grafik Densitas *Biocomposite*

Pada grafik densitas (Gambar 11) nilai rata-rata densitas mengalami penurunan. Menurunnya nilai densitas dengan penambahan lem PVAc 20% pada pengikat *biocomposite* diperbandingkan fraksi volume 30% serbuk kayu : 20% lem PVAc : 50% getah pinus ini disebabkan karena meningkatnya fraksi volume serbuk kayu hal ini terjadi karena nilai densitas bahan penguat serbuk kayu lebih kecil dibandingkan nilai densitas pengikat lem PVAc dan getah pinus, sehingga mempengaruhi nilai densitas *biocomposite*, semakin besar persentase penguat serbuk kayu maka semakin kecil nilai densitas *biocomposite* yang didapatkan.

4.3 Uji Daya Serap Air (*Water Absorption*)

Pengujian daya serap air (*water absorption*) dilakukan dengan menggunakan ASTM D570-98 sebagai acuan dalam pengolahan data.



Gambar 12. Pengujian Daya Serap Air

Data hasil pengujian daya serap air (*water absorption*) *biocomposite* serbuk kayu/lem PVAc/getah pinus yang didapatkan dihitung menggunakan persamaan 2.5 yang kemudian diplotkan kedalam bentuk grafik batang untuk menggambarkan nilai rata-rata daya serap air.

Berdasarkan grafik diatas (Gambar 13) menunjukkan bahwa *biocomposite* mengalami peningkatan. Meningkatnya nilai daya serap air (*water absorption*) disebabkan karena meningkatnya volume serbuk kayu, Hubungan antara densitas dan

daya serap air (*water absorption*) dipengaruhi oleh perubahan komposisi kayu, karena kayu memiliki daya serap yang cukup tinggi sehingga komposisi serbuk kayu sangat mempengaruhi nilai daya serap air.



Gambar 13. Grafik Daya Serap Air

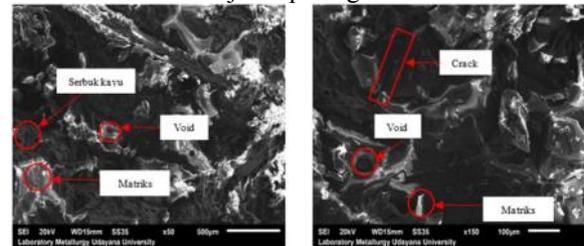
4.4 Uji SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Pengamatan SEM dilakukan untuk melihat kondisi permukaan (morfologi) *biocomposite* serbuk kayu/lem PVAc/getah pinus.

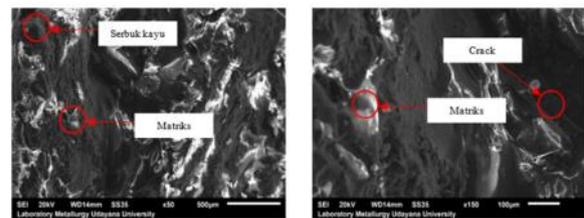


Gambar 14. Pengamatan NSEM

Pengamatan morfologi *biocomposite* melalui SEM dilakukan dengan pembesaran 50x dan 150x. Hasil foto SEM disajikan pada gambar 16 dan 17.



**Gambar 15. Spesimen 20%:20%:60%
Pembesaran 50x dan 150x**



**Gambar 16. Spesimen 30%:20%:50%
Pembesaran 50x dan 150x**

Hasil pengamatan SEM menunjukkan bahwa *biocomposite* homogen. Hal yang bisa diamati pada pembesaran 50x dan 150x pada *biocomposite* dengan penambahan bahan lem PVAc 20% pada pengikat *biocomposite* diperbandingkan fraksi volume 20% serbuk kayu : 20% lem PVAc : 60% getah pinus terdapat banyaknya pengikat didalamnya sehingga mudah terjadinya crack dan void, karena terlalu dominan pengikat dari pada penguat yang membuat serbuk kayu tidak terdistribusi merata dengan pengikat yang membuat spesimen kurang mampu

dalam menerima pembebanan yang merata. Sedangkan dengan penambahan bahan lem PVAc 20% pada *biocomposite* diperbandingkan fraksi volume 30% serbuk kayu : 20% lem PVAc : 50% getah pinus hanya terdapat crack lebih kecil tanpa adanya void dan terjadi ikatan merata atau komposisi bahan yang seimbang antara pengikat dan penguat sehingga spesimen mampu menerima pembebanan dengan merata dan memiliki nilai regangan bending yang rendah.

5. Penutup

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan tentang pengaruh penambahan lem PVAc 20% pada *biocomposite* serbuk kayu/lem PVAc/getah pinus terhadap karakteristik fisik (densitas dan daya serap air (*water absorption*)) dan mekanik (kekuatan bending), dapat disimpulkan bahwa :

1. Pengaruh penambahan lem PVAc 20% pada pengikat memiliki pengaruh yang cukup besar pada *biocomposite* terhadap karakteristik mekanik, dimana untuk hasil kekuatan bending menunjukkan bahwa diperbandingkan fraksi volume 30% : 20% : 50% memiliki kekuatan bending paling tinggi. Sehingga dengan penambahan bahan lem PVAc 20% dan 50% getah pinus di pengikatnya dengan 30% serbuk kayu pada penguat mampu menghasilkan kekuatan bending yang maksimum.
2. Pada hasil uji densitas dengan penambahan lem PVAc 20% pada pengikat *biocomposite* terhadap karakteristik fisik memiliki pengaruh yang cukup besar. Hal ini terjadi karena nilai densitas bahan penguat serbuk kayu lebih kecil dibandingkan nilai densitas pengikat lem PVAc dan getah pinus, sehingga mempengaruhi densitas *biocomposite*. Sedangkan untuk hasil nilai daya serap air dengan penambahan lem PVAc 20% konstan terhadap karakteristik fisik tidak begitu berpengaruh pada lem PVAc. Disebabkan karena serbuk kayu memiliki daya serap air lebih besar dibandingkan dengan lem PVAc dan getah pinus sehingga pada *biocomposite* dengan perbandingan fraksi volume 30% : 20% : 50% memiliki hasil daya serap air paling besar yaitu sebesar 7,505%.
3. Pada hasil pengamatan SEM dengan pembesaran 50x dan 150x pada *biocomposite* dapat diamati dengan penambahan bahan lem PVAc 20% pada pengikat *biocomposite* diperbandingkan fraksi volume 20% : 20% : 60% terdapat banyaknya pengikat didalamnya sehingga lebih mudah terjadinya crack dan void, karena terlalu dominan pengikat dari pada penguat yang membuat serbuk kayu tidak terdistribusi merata dengan pengikat yang membuat spesimen kurang mampu dalam menerima pembebanan yang merata. Sedangkan dengan penambahan bahan lem PVAc 20% pada *biocomposite* diperbandingkan fraksi volume 30% : 20% : 50% hanya terdapat crack lebih kecil tanpa adanya void dan terjadi ikatan merata atau komposisi bahan yang seimbang antara pengikat

dan penguat sehingga spesimen mampu menerima pembebanan dengan merata dan memiliki nilai regangan bending yang rendah.

Daftar pustaka

- [1] Altari, L., Surya, P., Kencanawati, C. I. P. K., & Sugita, I. K. G., 2018, *Green Composite Serbuk Ampas Tebu Dengan Matrik Getah Pinus Sebagai Penyerap Bunyi*, Prosiding Konferensi Nasional Engineering Perhotelan IX-2018 (174–178). ISSN 2338-414X.
- [2] Susila. I. M., Suardana. N. P. G., Kencanawati. C. I. P. K., Thanaya. I. N. A., & Adnyana. I. W. B., 2018, *The Effect of Composition of Plastic Waste Low Density Polyethylene (LDPE) with Sand to Pressure Strength and Density of Sand/LDPE Composite*, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Vol. 539 No. 1, pp.1-6.



I Kadek Hendra Dinata menyelesaikan studi SMA di SMAN 1 Kuta Selatan pada tahun 2016, Kemudian melanjutkan program sarjana S1 di Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana pada tahun 2016, dan menyelesaikannya pada tahun 2020.

Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan polimer komposit.

Pengaruh Variasi Perendaman Terhadap Kekuatan Tarik Serat Tunggal Daun Praksok (*Cordyline Australis*)

I Komang Ari Dimas, Tjokorda Gde Tirta Nindhia, I Wayan Surata
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Serat berperan sebagai bahan utama dalam komposit, sehingga besar kecilnya kekuatan komposit tergantung pada kekuatan seratnya. bahan penguat serat alam menjadi sebuah pilihan alternatif. Salah satunya adalah praksok (*Cordyline australis*), merupakan tanaman yang banyak tumbuh diseluruh wilayah Indonesia. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi perendaman terhadap kekuatan tarik serat tunggal daun praksok. Pengujian tarik mengacu pada ASTM C 1557-03. Hasil penelitian menunjukkan bahwa serat praksok tanpa perlakuan mempunyai kekuatan tarik sebesar 46,85MPa dan regangan sebesar 0,11% sedangkan untuk serat dengan perlakuan NaOH 5% perendaman selama 2 jam mempunyai kekuatan tarik sebesar 110,92 MPa dan regangan sebesar 0,10%, serat dengan perlakuan NaCL 2 jam memiliki kekuatan tarik 36,43 MPa dan regangan 0,07%, NaCL 4 jam memiliki kekuatan tarik 47,24 MPa dan regangan 0,10%, NaCL 6 jam memiliki kekuatan tarik sebesar 42,26 MPa dan regangan 0,09%, NaCL 8 jam memiliki kekuatan tarik sebesar 55,19 Mpa dan regangan 0,09%. Dan modulus elastisitas terendah terdapat pada serat tanpa perlakuan yaitu sebesar 0,42249 GPa. Sedangkan modulus elastisitas tertinggi dimiliki oleh serat dengan perlakuan NaOH 5% perendaman 2 jam sebesar 1,04847GPa.

Kata kunci: Serat, Daun Praksok (*Cordyline Australis*), Serat Tunggal

Abstract

fiber in composite material is the material that distribute the load. strength of a composite material is dependant on the strength of the fibers. natural fiber is an alternative choice, one of which is praksok *Cordyline australis*. The purpose of this study is to determine the effect of variable submersion on the tensile strength of praksok leaf fibers. Single fiber tensile testing refers to ASTM C 1557-03. The results showed that Praksok fiber without treatment has an tensile strength of 46,85 MPa and strain of 0,11%. fibers with 5% NaOH treatment of 2 hours had an tensile strength of 110,92 MPa and strain of 0,10%, fibers with a 2 hour NaCL had an tensile strength of 3,43 MPa and strain of 0,07%, 4 hour NaCL had an tensile strength of 47,24 MPa and strain of 0,10%, 6-hour NaCL has an tensile strength of 42,26 MPa and strain of 0,09%, an 8-hour NaCL has an tensile strength of 5,19 MPa and strain of 0,09%. And the lowest modulus of elasticity is found in the untreated fiber which is 0,42249 GPa. While the highest modulus of elasticity is at 5% NaOH for 2 hours by 1,04847GPa.

Keywords: Fiber, *Cordyline Australis*, Single Fiber

1. Pendahuluan

Serat merupakan unsur utama dalam komposit. Pada saat ini, komposit dengan bahan penguat sintetis banyak digunakan karena memiliki sifat mekanik yang baik. Tetapi karena bahan penguat sintetis merupakan material yang mahal, maka untuk menurunkan biaya komposit bahan penguat alam menjadi pilihan alternatif. Praksok (*Cordyline australis*) merupakan tanaman yang banyak tumbuh di seluruh wilayah Indonesia, memiliki tinggi mencapai 10 m dan diameter 20 cm. Oleh masyarakat Bali daun praksok diolah dan dapat menghasilkan serat yang biasa dijadikan rambut randa, barong, ogoh-ogoh dll. Serat praksok juga dapat digunakan sebagai komposit serat alam.

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

1. Bagaimana kekuatan tarik serat tunggal *Cordyline australis* tanpa perlakuan.
2. Bagaimana kekuatan tarik serat tunggal *Cordyline australis* perlakuan 5% NaOH 2 jam.
3. Bagaimana kekuatan tarik serat tunggal *Cordyline australis* dengan perlakuan NaCL perendaman 2 jam, 4 jam, 6 jam dan 8 jam.

Beberapa batasan ditetapkan dalam penelitian ini meliputi:

1. Ekstraksi menggunakan metode *water retting*
2. Daun praksok yang digunakan yaitu daun ke-3 dari daun paling bawah
3. Daun praksok yang digunakan diambil dari daerah Karangasem

2. Dasar Teori

2.1 Serat Alam

Serat alam adalah serat yang banyak diperoleh di alam sekitar yang berasal dari tumbuh-tumbuhan seperti, praksok, nanas, kelapa, lidah mertua dan lain-lain. Serat alam sendiri sangat mudah didapat, dan juga merupakan sumber daya alam yang dapat didaur ulang dan harganya relatif murah. Serat alam sendiri banyak tumbuh di daerah Indonesia. Serat juga sangat berperan penting dalam komposit karena semakin kecil diameter serat maka komposit tersebut semakin kuat, karena cacat pada material semakin minim[1]

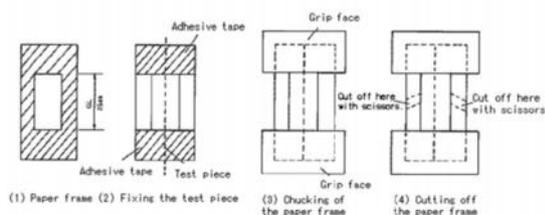
2.2 Serat Daun Praksok (*Cosdyline australis*)

Praksok (*Cordyline australis*), merupakan tanaman yang banyak tumbuh di seluruh wilayah Indonesia, tinggi dapat mencapai 20 m dan diameter 25 cm. Oleh masyarakat Bali daun praksok diolah dan dapat menghasilkan serat yang biasa dijadikan rambut randa, barong dll. Serat praksok merupakan material *biodegradable* dan dapat digunakan sebagai komposit serat alam.

Dalam pengujian yang akan dilakukan yaitu menggunakan daun praksok sebagai bahan dasar komposit yang diambil seratnya untuk proses pengujian. Serat daun praksok (*Cordyline australis*) yang dipilih untuk proses pengambilan serat adalah yang berada 2-3 dari daun paling bawah pada tanaman praksok. Yang kemudian direndam selama 30 hari menggunakan air murni (H O) dan perlakuan NaOH sehingga akan mempermudah dalam proses pengambilan serat.

2.3 Uji Tarik Serat Tunggal

Uji tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan dari serat tunggal, yang mengacu pada ASTM C 1557-03. Seperti Gambar 1



Gambar 1 Bentuk spesimen uji tarik serat tunggal C 1557-03

- a. Kekuatan tarik besarnya kekuatan dapat ditentukan dengan persamaan

Engineering stress

$$(\sigma) = \frac{F}{A_0} \quad (1)$$

Dimana :

F = Beban (N)

A₀ = Luas penampang mula – mula (mm²)

σ = Engineering stress (MPa)

b. Regangan Tarik

Engineering strain

$$(\epsilon) = \frac{l_1 - l_0}{l_0} = \frac{\Delta L}{l_0} \quad (2)$$

Dimana :

ε = Engineering strain

l₀ = Panjang daerah ukur (mm)

Δl = Pertambahan panjang (mm)

Maka untuk perhitungan modulus elastisita uji tarik digunakanya rumus sebagai berikut :

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (3)$$

Dimana :

E = Modulus elastisitas tarik (MPa)

σ = Engineering stress (MPa)

ε = Engineering strain

3. Metode Penelitian

3.1 Persiapan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Mesin uji tarik
2. Gunting
3. Penggaris
4. Karton
5. Masker
6. Sarung tangan
7. Majun
8. Serat daun praksok (*Cordyline australis*)
9. Lem epoxy



Gambar 2 Alat uji tarik

3.2 Range Pengujian

Variasi perlakuan dalam penelitian ini adalah :

- a. Tanpa Perlakuan
- b. 5% NaOH 2 jam
- c. NaCL 2 jam
- d. NaCL 4 jam
- e. NaCL 6 jam
- f. NaCL 8 jam

3.3 Prosedur Penelitian

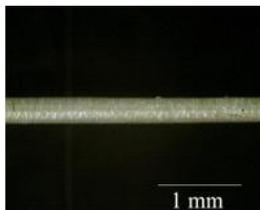
1. Siapkan daun praksok dengan menggunakan 2-3 daun dari daun yang paling bawah pohon praksok lalu cuci dengan air tawar, rendam dengan menggunakan teknik *water retting* yaitu perendaman serat dalam wadah yang sudah disediakan dan direndam selama 30 hari sampai daun membusuk. Setelah itu dipisahkan serat dengan zat pengikatnya.
2. NaOH 5% selama 2 jam, dan perlakuan air laut untuk perendaman selama 2 jam, 4 jam, 6 jam, 8 jam agar lignin dan kotoran berkurang.

3. Pemotongan serat yang sesuai dengan panjang yaitu 5 cm.
4. Persiapkan specimen uji tarik yang mengacu pada ASTM C 1557-03.
5. Pembuatan spesimen dengan menggunakan kertas karton dan lem epoxy sebagai pengikat serat dengan karton.
6. Setelah specimen uji tarik kering yaitu selama 24 jam maka proses selanjutnya adalah pemasangan karton untuk grip tujuannya agar serat praktis tidak lepas pada saat pengujian tarik.
7. Sebelum pengujian maka terlebih dahulu mengambil foto makro dan mengukur diameter serat praksok dengan menggunakan mikrometer yang tersambung ke komputer dengan aplikasi *future winjoe* untuk mengambil foto mikro dan menggunakan aplikasi *imageJ* untuk mengetahui diameter serat.
8. Pemasangan specimen ke alat uji tarik serat tunggal Setelah terdapat pembebanan maka perlahan-lahan serat praksok mulai terlihat adanya elastisitas dan akan putus pada saat tegangan maksimum.

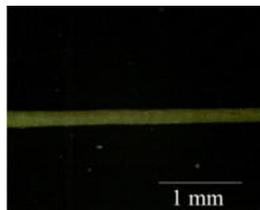
4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Foto Makro

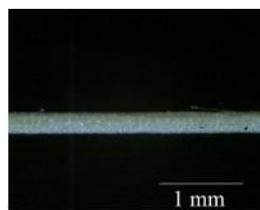
Pada pengambilan foto makro lensa yang digunakan adalah lensa dengan pembesaran 40x dimana *microscope* tersambung kekomputer dan menggunakan aplikasi *future winjoe* untuk pengambilan gambar, setelah mendapatkan gambar dari serat tunggal selanjutnya menggunakan aplikasi *ImageJ* untuk mengetahui diameter dari serat daun praksok, seperti ditunjukkan pada Gambar 3-8



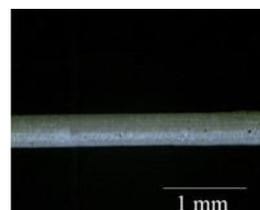
Gambar 3 Foto Makro Serat Tanpa Perlakuan



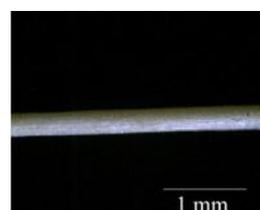
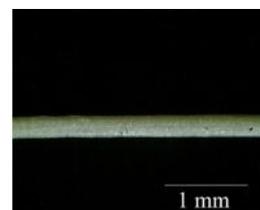
Gambar 4 Foto Makro Serat Perlakuan NaOH



Gambar 5 Foto Makro Serat Perlakuan NaCl 2 Jam



Gambar 6 Foto Makro Serat Perlakuan NaCl 4 Jam



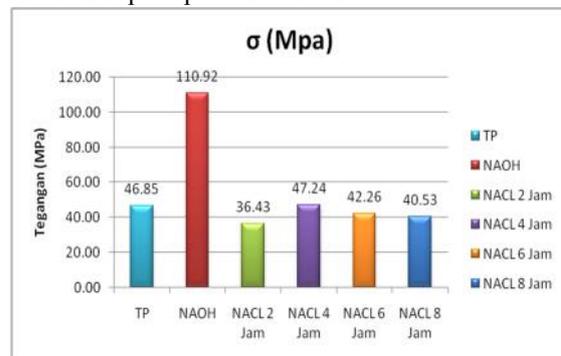
Gambar 7 Foto Makro Serat Perlakuan NaCl 6 Jam

Gambar 8 Foto Makro Serat Perlakuan NaCl 8 Jam

Pada foto makro terlihat serat dengan perlakuan NaOH 5% perendaman 2 jam memiliki diameter lebih kecil dibandingkan dengan serat tanpa perlakuan maupun serat dengan perlakuan NaCl, hal tersebut terjadi karena proses alkalisasi NaOH yang menyebabkan kotoran dan lignin yang menempel pada serat terdegradasi dan terjadi penyusutan diameter serat.

4.2 Hasil Uji Tarik Serat Tunggal

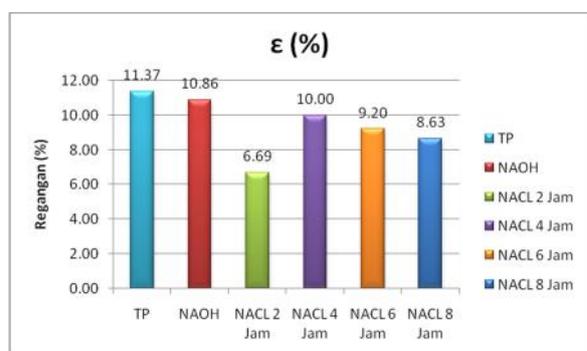
Hasil uji tarik serat tunggal didapatkan kekuatan tarik, regangan tarik dan modulus elastisitas seperti pada Gambar 9-11



Gambar 9 Grafik Gabungan Tegangan Tarik Serat Tunggal

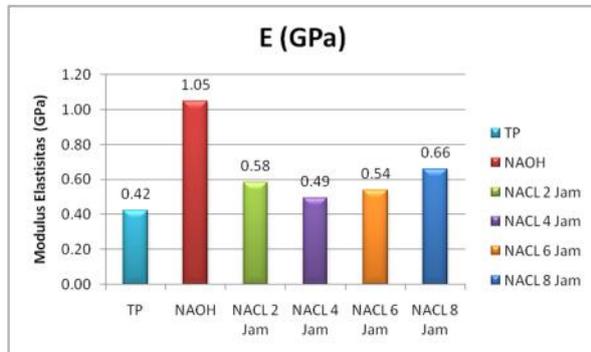
Dari Gambar 9 didapat kekuatan tarik rata-rata tertinggi pada specimen dengan perlakuan NaOH 5% perendaman 2 jam sebesar 110,92 MPa dan terendah pada specimen perendaman NaCl 2 jam sebesar 36,43 MPa. Kekuatan tarik serat dengan perlakuan NaCl selama 2 jam lebih rendah, hal ini terjadi karena lignin masih melekat pada permukaan serat sehingga menambah luas penampang. Hal tersebut sesuai dengan prinsip dasar tegangan. Sehingga semakin besar luas penampang maka kekuatan tarik semakin menurun [2].

Dari Gambar 10 di dapat regangan tarik terendah pada specimen perendaman NaCl 2 jam sebesar 36,43 MPa dan regangan rata-rata maksimal terdapat pada specimen tanpa perlakuan sebesar 11,37% dan terendah pada specimen dengan perlakuan NaCl 2 jam sebesar 6,69%. Ini terjadi karena serat tanpa perlakuan patah secara alami dan patahan yang terjadi pada serat dengan perlakuan 5% NaOH dan NaCl menunjukkan bahwa patahan terjadi karena serat kehilangan lignin [2].



- [2] Sugeng prasojo.dkk 2018, *Pengaruh Alkalisasi Terhadap Kompatibilitas Serat Sabut Kelapa (Cocos Nucifera) Dengan Matriks Poliester*
- [3] Wijoyo, dkk, 2009, *Optimasi Kekuatan Tarik Serat Nanas (Ananas Comous l Merr) Sebagai Alternatif Bahan Komposit Serat Alam.*

Gambar 10 Grafik Gabungan Regangan Tarik Serat Tunggal



Gambar 11 Grafik Gabungan Modulus Elastisitas Serat Tunggal

Dari Gambar 11 didapatkan hasil dari modulus elastisitas terendah terdapat pada serat tanpa perlakuan yaitu sebesar 0,42 GPa. Sedangkan modulus elastisitas tertinggi dimiliki oleh serat dengan perlakuan NaOH 5% perendaman 2 jam sebesar 1,05 GPa. Sedangkan serat tunggal serabut kelapa tanpa perlakuan memiliki kekuatan tarik sebesar 34,33 MPa dan meregang sebesar 20,81%, kemudian setelah mendapat perlakuan NaOH 5% 2 jam memiliki kekuatan tarik sebesar 94,07 MPa dan meregang sebesar 33,33% [3].

5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kekuatan tarik dan regangan serat praksok tanpa perlakuan mempunyai kekuatan tarik sebesar 46,85MPa dan regangan sebesar 11,37 %.
2. Kekuatan tarik dan regangan paling optimum adalah perlakuan NaOH 5% selama 2 jam, yaitu kekuatan tarik sebesar 110,92 MPa dan regangan mencapai 0,10%.
3. Kekuatan tarik dan regangan serat dengan perlakuan NaCL 2 jam memiliki kekuatan tarik rata-rata 36,43 MPa dan regangan rata-rata 6,69 %, NaCL 4 jam memiliki kekuatan tarik rata-rata 47,24 MPa dan regangan rata-rata 10%,NaCL 6 jam memiliki kekuatan tarik rata-rata sebesar42,26 MPa dan regangan rata-rata 9,20%, NaCL 8 jam memiliki kekuatan tarik rata-rata sebesar 55,19 Mpa dan regangan rata-rata 8,63%.

Daftar Pustaka

- [1] Diharjo K & Triyono T 2000, *Material Teknik*, Buku Pegangan Kuliah, UNS Press, Surakarta

	<p>I Komang Ari Dimas Lulus dari sekolah menengah di SMKN 1 Denpasar pada tahun 2016, melanjutkan program sarjana di Universitas Udayana mengambil Jurusan T Mesin pada tahun 2016, dan menyelesaikan pada tahun 2020.</p>
<p>Bidang yang diminati adalah teknik mesin dan rekayasa manufaktur.</p>	

Pengaruh *Treatment* Naoh Pada Serbuk Kayu Terhadap Karakteristik Fisik Dan Mekanik *Biocomposite* Serbuk Kayu/Getah Pinus/Lem Putih

Komang Ary Prasetya, N.P.G Suardana dan C.I.P.Kusuma Kencanawati
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Penggunaan kayu sebagai bahan utama pembuatan furniture merupakan salah satu penyebab meningkatnya jumlah limbah serbuk kayu. Upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi jumlah limbah kayu tersebut adalah dengan menjadikannya sebagai bahan baku pembuatan papan partikel/bahan komposit. Pembuatan papan partikel dengan cara yang dikembangkan sekarang masih banyak menggunakan bahan-bahan sintesis yang sulit terdegradasi oleh alam (non biodegradable). Penelitian ini menggunakan bahan-bahan yang dapat terdegradasi oleh alam (biodegradable) yaitu menggunakan serbuk kayu berukuran 1,00 – 2,00 mm yang ditreatment dengan NaOH terlebih dahulu sebagai penguat, dengan pengikat lem PVAc dan getah pinus yang sudah dilakukan heat treatment dengan temperatur 170°C dengan holding time 10 menit. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi perendaman NaOH pada serbuk kayu terhadap kekuatan fisik dan mekanik *biocomposite* serbuk kayu/lem PVAc/getah pinus. Pembuatan *biocomposite* serbuk kayu/lem PVAc/getah pinus menggunakan fraksi volume 25% serbuk kayu, 20% lem PVAc, 55% getah pinus yang dibuat dengan variasi perendaman NaOH pada serbuk kayu yaitu dengan direndam pada larutan NaOH 1%, 3%, dan 5% selama 4 jam. Proses pembuatan *biocomposite* menggunakan metode hand lay-up dalam pengerjaannya. Pengujian yang dilakukan adalah antara lain uji bending, uji densitas, uji daya serap air dan pengamatan SEM. Pengujian kekuatan bending dengan nilai tegangan bending tertinggi adalah pada spesimen dengan variasi persentase perendaman NaOH 1% yaitu sebesar 4,789 MPa dan tegangan bending terendah sebesar 4,589 MPa pada spesimen dengan variasi perendaman NaOH 5%. Hasil tegangan bending ini berbanding lurus dengan regangan bending yang hasilnya juga menurun dan berbanding terbalik dengan modulus elastisitas yang meningkat dengan peningkatan variasi persentase perendaman NaOH. Hasil uji densitas nilainya berkisaran antara 1,046 gr/cm³ - 1,083 gr/cm³ dan untuk hasil uji daya serap air (water absorption) nilainya berkisaran antara 11,506% - 15,965%. Untuk uji mekanik dan fisik ini dapat dibuktikan dengan hasil uji morfologi melalui Scanning Electron Microscope (SEM).

Kata kunci: serbuk kayu, lem PVAc, getah pinus, komposit, NaOH

Abstract

The use of wood as the main material for making furniture is one of the causes of the increased use of wood which causes a lot of wood dust waste. Effort that can be used to reduce the amount of wood dust waste is to make it as raw material for making particle boards/composite materials. Many of the particle board manufacturing in the way that is currently developing are still using synthetic materials that are difficult to be degraded by nature (non biodegradable). This research use biodegradable material such as using sawdust measuring 1,00 – 2,00 mm which is treated with NaOH first as reinforcement with PVAc glue and pine resin as binder that has been heat treated by a temperature of 170°C with 10 minute of holding time. This research was made to discover the effect of NaOH treatment to sawdust of bio composite of sawdust/PVAc glue/pine resin on its physical and mechanical characteristic. Sawdust bio composite/PVAc glue/Pine resin using fraction comparisons of 25% volume of sawdust : 20% PVAc glue : 55% that is made by using variation of NaOH immersion for sawdust by soaking in 1%,3%,5% NaOH liquid for 4 hours. The process of making bio composite with hand lay-up methods in the process. The tests is carried out include bending test, density test, water absorption test and SEM observation. The bending strength testing with the highest bending stress result of 4,789 MPa with the comparison of 1% NaOH and the lowest 4,589 MPa with the comparison 5% NaOH. The results is directly proportional to the bending strain while inversely proportional to the modulus of bending results which increases with increasing variations of immersion of NaOH. The density test results range between 1,046 gr/cm³ – 1,083 gr/cm³ and the water absorption results range between 11,506% - 15,965 %. This mechanical and physical results could be proven by morphological test through Scanning Electron Microscope (SEM).

Keyword: Saw dust, PVAc glue, Pine resin, composite, NaOH

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara agraris yang kaya akan tanaman penghasil kayu yang banyak digunakan untuk berbagai keperluan. Kayu merupakan jenis bahan yang penggunaannya begitu beraneka ragam, salah satunya adalah digunakan

sebagai bahan baku furniture. Penggunaan kayu sebagai bahan utama pembuatan furniture merupakan salah satu penyebab meningkatnya penggunaan kayu dan penebangan hutan oleh manusia.

Dalam perkembangan era globalisasi sudah banyak tempat industri furniture yang menggunakan

serbuk kayu sebagai bahan utama dalam pembuatan *furniture*. Serbuk kayu merupakan salah satu bahan komposit yang memiliki kelebihan yaitu mudah ditemukan, tidak beracun, dan murah. Dalam pemanfaatannya, serbuk kayu sudah dimanfaatkan sebagai bahan papan partikel. Papan partikel ini nantinya akan dimanfaatkan sebagai bahan utama pembuatan *furniture*. Tetapi dalam pembuatan papan partikel dengan cara yang dikembangkan sekarang masih banyak menggunakan bahan-bahan sintesis yang tentunya sulit terdegradasi oleh alam (*non biodegradable*). Dalam pembuatan papan partikel tentu diperlukan matriks untuk mengikat penguatnya. Dalam penelitian ini, matriks yang akan digunakan adalah getah pinus dan lem putih. Getah pinus merupakan salah satu komoditi Hasil Hutan Bukan Kayu (HHBK) yang cukup potensial dan Indonesia. Pinus Merkusii merupakan satu-satunya jenis pinus yang tumbuh asli di Indonesia yang terus-menerus diperluas penanamannya dan dikembangkan pemanfaatannya, salah satunya yaitu bagian batangnya disadap untuk diambil getahnya. Penelitian mengenai getah pinus masih sangat sedikit, padahal ketersediaan bahan baku getah pinus cukup banyak. Di Bali sendiri untuk kawasan hutan KPH Bali Timur Provinsi Bali dengan jumlah pohon 133.000 batang belum dimanfaatkan sama sekali, padahal pohon pinus dapat menghasilkan getah dengan tingkat produktivitas sebesar 7,42 gram/hari/pohon dengan waktu panen 15 hari sekali. Mengingat pemanfaatan serbuk kayu dan getah pinus yang belum maksimal, hal ini sangat memungkinkan untuk dikembangkannya pemanfaatan getah pinus sebagai matrik komposit dengan penguat serbuk kayu. Hasil dari serbuk kayu dengan pengikat getah pinus berupa papan partikel komposit yang nantinya akan mampu menjawab kebutuhan terhadap bahan komposit yang dapat terdegradasi oleh alam (*biodegradable*) serta ramah lingkungan (*green composite*).

Kualitas dan karakteristik dari komposit yang akan dibuat dapat diamati dengan melakukan beberapa treatment terhadap *filler* pada komposit diantaranya melalui perendaman dengan larutan alkali NaOH. Sehingga, pada penelitian ini akan diamati pengaruh treatment NaOH terhadap karakteristik fisik dan mekanik *biocomposite* serbuk kayu/lem putih/getah pinus.

2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan alat dan bahan sebagai berikut:

2.1 Alat Penelitian

Alat uji (Alat uji bending ASTM D790-03, timbangan uji densitas, wadah untuk uji daya serap air dan alat uji SEM), Alat Cetak (Cetakan dengan ukuran sesuai dengan ASTM D790-03), Alat K3 (Masker, sarung tangan latex, sarung tangan anti panas), Alat bantu (*Magnetic stirrer*, gunting, sendok, minyak goreng, mangkok kecil, gelas kecil), Alat pembersih (Lap, sabun).

2.2 Bahan Penelitian

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu, Penguat serbuk kayu, Matrik (Getah pinus dipanaskan pada mesin *Magnetic Heat Stirrer* hingga mencapai suhu 170°C dengan kecepatan pengaduk *magnetic stirrer* 600rpm dan *holding time* 10 menit, aquades dan NaOH.

2.3 Proses Pengolahan Serbuk Kayu

Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengolahan serbuk kayu. Serbuk kayu yang didapat dari pengepul diayak terlebih dahulu agar mendapatkan ukuran 1,00 mm – 2,00 mm. Setelah itu serbuk kayu direndam terlebih dahulu di dalam larutan NaOH 1%, 3%, dan 5% selama 4 jam. Setelah proses perendaman dengan larutan NaOH, lalu serbuk kayu dikeringkan di bawah sinar matahari terik selama 24 jam. Serbuk kayu yang telah dikeringkan di bawah sinar matahari dikeringkan kembali di dalam oven dengan suhu 70°C dan ditimbang setiap 20 menit hingga berat serbuk kayu konstan



Gambar 1. Serbuk Kayu

2.4 Komposisi Bahan *Biocomposite*

Komposisi bahan *biocomposite* serbuk kayu/getah pinus/lem putih dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Bahan-Bahan

Variasi Fraksi Volume (%)	Getah Pinus (gr)	Serbuk Kayu (gr)	Lem Putih	% NaOH
55 : 25 : 20	7,623	1,544	2,646	1%
	7,623	1,544	2,646	3%
	7,623	1,544	2,646	5%

2.5 Proses Pembuatan *Biocomposite*

Berikut langkah-langkah proses pencetakan *green composite* :

1. Getah pinus, serbuk kayu, dan lem putih diukur dengan fraksi volume 55% getah pinus, 25% serbuk kayu, 20% lem putih.
2. Getah pinus dipanaskan di dalam *beaker* menggunakan mesin *magnetic stirrer* hingga mencapai temperature 170°C dengan *holding time* selama 10 menit dengan kecepatan pengaduk 600 rpm.
3. Limbah serbuk kayu dan lem putih PVAc dicampurkan sesuai dengan tabel komposisi bahan dan aduk hingga merata.
4. Setelah *holding time* selesai, *magnetic stirrer* dikeluarkan dari *beaker*, lalu campuran getah pinus dan serbuk kayu yang

- sudah dicampurkan lem ke dalam wadah yang dipanaskan lalu diaduk hingga merata.
- Campuran getah pinus dan serbuk kayu dimasukkan ke dalam cetakan lalu ditekan dengan tekanan sebesar 5 kg agar campuran dapat masuk merata dan sesuai dengan ukuran cetakan.
 - Langkah – langkah pembuatan spesimen dari awal diulang untuk variasi spesimen uji lainnya.
 - Setelah kering, spesimen dikeluarkan dari cetakan secara perlahan
 - spesimen bio komposit yang kering siap untuk diuji.

2.6 Pengujian Bending

Pengujian bending dilakukan untuk mengetahui kekuatan bending dari suatu material. Perhitungan pengujian bending mengacu pada ASTM D790-03.

A. Tegangan bending

$$\sigma_b = \frac{3P.L}{2b.d^2} \quad (1)$$

B. Regangan bending

$$b = \frac{6\delta \cdot d}{l^2} \quad (2)$$

C. Modulus Elastisitas bending

$$E_b = \frac{L^3 \cdot m}{4b \cdot d^3} \quad (3)$$

σ_L = Tegangan bending (MPa)

P = Beban (N)

ϵ_L = Regangan Bending

δ = Defleksi Benda Uji (mm)

E_L = Modulus Elastisitas Bending (MPa)

L = Panjang jarak tumpuan (mm)

B = Lebar benda uji (mm)

d = Tebal benda uji (mm)

m = Tangen garis lurus pada Load Deflection Curve (N/mm)

2.7 Pengujian Densitas Dan Daya Serap Air (Water Absorption)

Pengujian densitas mengacu pada penelitian Susila, 2018 [1] dan daya serap air (*water absorption*) mengacu pada ASTM D570-98. Pengujian densitas dilakukan untuk mengetahui kerapatan suatu material dan daya serap air (*water absorption*) dilakukan untuk mengetahui kemampuan material dalam menyerap air.

A. Perhitungan Uji Densitas Aktual Dan Teoritis

$$\rho = \frac{ms}{mb - (m_k - m_k)} \times \rho_{aquades} \quad (4)$$

$$\rho = (\text{fraksi volume penguat} \times \rho_{\text{penguat}}) + (\text{fraksi volume matriks} \times \rho_{\text{matriks}}) \quad (5)$$

Keterangan :

ρ = Densitas Sampel

m_k = Massa kawat (gr)

m_s = Massa Spesimen tanpa kawat di udara (gr)

m_g = Massa Spesimen yang digantung dengan kawat saat di dalam air (gr)

m_b = Masa Spesimen basah (gr)

B. Perhitungan Uji Daya Serap Air (*water absorption*)

$$WA = \frac{m_b - m_k}{m_k} \times 100\% \quad (6)$$

Keterangan :

WA = Daya serap air (*water absorption*) (%)

m_b = massa basah dari spesimen uji (gr)

m_k = massa kering dari spesimen uji (gr)

3. Hasil dan Pembahasan

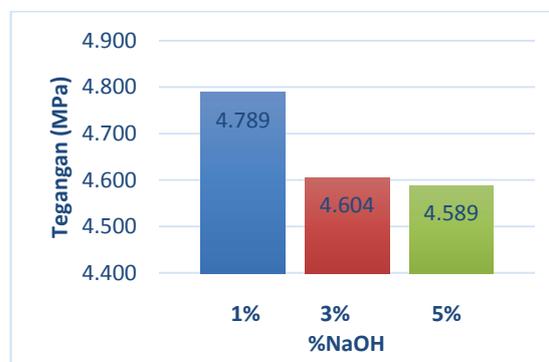
3.1 Uji Bending

Pengujian Bending menggunakan tiga sampel pada setiap variasi persentase perendaman NaOH.



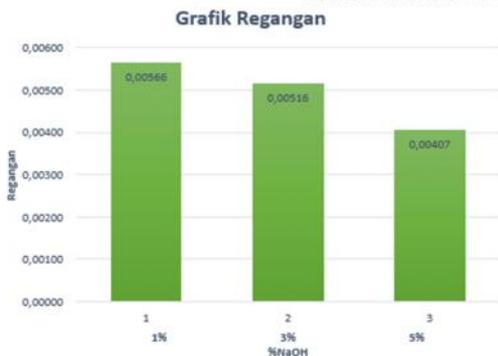
Gambar 2. Pengujian Bending

Data hasil yang didapat pada pengujian bending dihitung menggunakan persamaan pada ASTM D790-03.



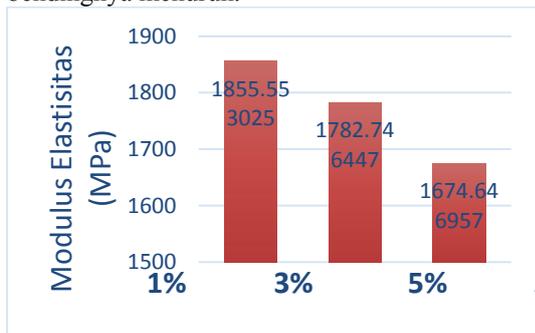
Gambar 3. Grafik Tegangan Bending

Hasil yang didapat menunjukkan bahwa pada spesimen variasi perendaman NaOH 1% memiliki hasil tegangan bending tertinggi, hal ini disebabkan oleh kadar alkali pada perendaman serbuk kayu sedikit, yang membuat wax, lignin dan selulosa pada serbuk kayu terkikis oleh larutan alkali tanpa merusak struktur serbuk kayu. Sedangkan pada spesimen dengan variasi perendaman NaOH 5% memiliki nilai tegangan bending paling rendah. Hal ini terjadi karena kadar alkali yang sangat tinggi merusak struktur serbuk kayu dan menjadikannya lebih rapuh dibandingkan dengan serbuk kayu yang direndam dengan larutan NaOH 1%.



Gambar 4. Grafik Regangan Bending

Pada grafik regangan bending dapat dilihat regangan bending biokomposit serbuk kayu/getah pinus/lem PVAc mengalami penurunan dengan meningkatnya persentase perendaman serbuk kayu pada larutan alkali NaOH. Nilai regangan bending tertinggi terdapat pada komposit dengan variasi perendaman NaOH 1%, sedangkan nilai regangan bending terendah terdapat pada komposit dengan variasi perendaman NaOH 5%. Degradasi serat akibat perlakuan alkali menyebabkan berkurangnya kemampuan regangan serat, sehingga regangan bendingnya menurun.



Gambar 5. Grafik Modulus Elastisitas

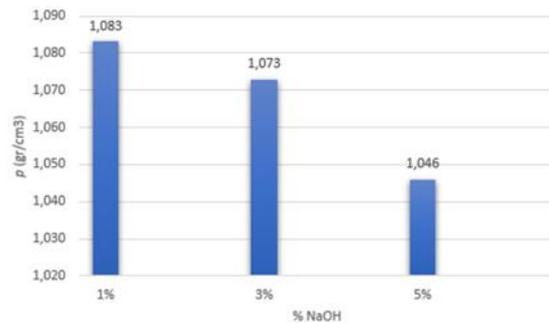
Biokomposit serbuk kayu/getah pinus/lem PVAc mengalami penurunan nilai modulus elastisitas setelah penguatnya dikenai perlakuan alkali. Pada grafik modulus elastisitas dapat dilihat bahwa modulus elastisitas tertinggi terdapat pada komposit dengan variasi perendaman NaOH 1% yaitu sebesar 1,855 GPa. Modulus elastisitas pada variasi perendaman NaOH 3% sebesar 1,782 GPa dan modulus elastisitas terendah terdapat pada variasi persentase perendaman NaOH 5% yaitu sebesar 1,674 GPa. Penurunan modulus elastisitas ini terjadi karena modulus elastisitas proposional dengan tegangan bending. Jika hasil pengujian bending menurun seiring penambahan persentase NaOH, maka modulus elastisitasnya juga akan menurun. Semakin besar nilai tegangan bending maka modulus elastisitasnya juga akan semakin besar. Ini menunjukkan bahwa modulus elastisitas berbanding lurus dengan tegangan bending.

3.2 Uji Densitas

Pengujian Densitas menggunakan tiga sampel pada setiap variasi persentase perendaman NaOH.



Gambar 6. Pengujian Densitas



Gambar 7. Grafik Densitas

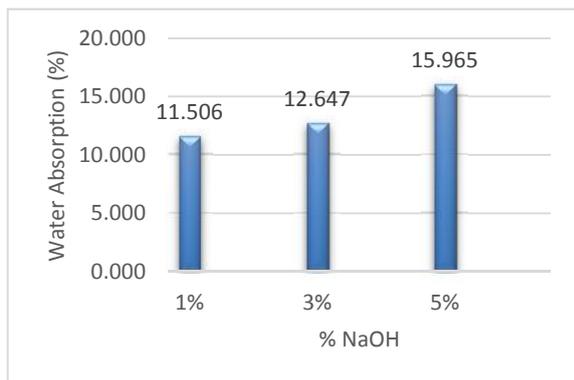
Dari data hasil yang didapat, dapat disimpulkan bahwa semakin banyak persentase NaOH pada perendaman serbuk kayu akan menyebabkan semakin rendah nilai densitas spesimen. Hal ini terjadi karena semakin banyak persentase NaOH pada perendaman serbuk kayu, maka akan lebih banyak mengikis wax, selulosa dan lignin dari serbuk kayu yang akan menyebabkan kerusakan pada struktur serat kayu. Kerapatan serat alami umumnya rendah berkaitan dengan lumen struktur dalam struktur serat alami. Akibat perlakuan alkali, lumen struktur serat berlubang seperti struktur tabung yang menyebabkan pengurangan densitas serat. Penurunan densitas ini juga terjadi karena adanya pengurangan massa pada serbuk kayu saat direndam dengan alkali. Jika dihubungkan dengan persamaan densitas berbanding lurus dengan massa dan berbanding terbalik dengan volume, pengurangan massa serbuk akan menyebabkan penurunan densitas jika volume serbuk kayu tetap.

3.3 Uji Daya Serap Air (Water Absorption)

Pengujian daya serap air (*water absorption*) menggunakan ASTM D570-98 sebagai acuan dalam pengolahan data. Dari data hasil pengujian daya serap air (*water absorption*) di atas, selanjutnya diplot ke dalam bentuk grafik batang untuk menggambarkan rata-rata daya serap air (*water absorption*) pada setiap variasi persentase perendaman NaOH.



Gambar 8. Pengujian Daya Serap Air

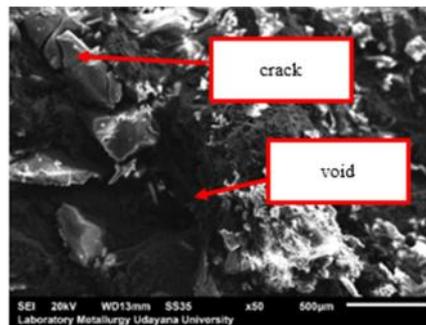


Gambar 9. Grafik Daya Serap Air (*Water Absorption*)

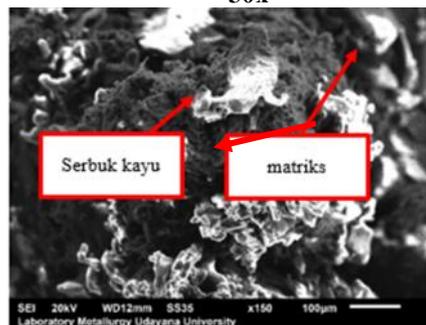
Gambar 9. di atas menunjukkan bahwa *biocomposite* serbuk kayu/lem PVAc/getah pinus dengan treatment NaOH pada serbuk kayu memiliki hasil daya serap air rata-rata yang tertinggi ditunjukkan pada spesimen dengan variasi persentase NaOH 5% dengan nilai rata-rata sebesar 15,965% sedangkan hasil daya serap air rata-rata yang terendah ditunjukkan pada spesimen dengan variasi persentase NaOH 1% dengan nilai rata-rata sebesar 11,506%. Hasil ini sesuai dengan jurnal Lokantara dkk (2009), yang menjelaskan bahwa perendaman selama 24 jam pada persentase larutan alkali yang lebih tinggi menyebabkan *water absorption* meningkat [2].

3.4 Uji SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Pengamatan SEM dilakukan untuk melihat kondisi permukaan (morfologi) *green composite serbuk kayu/getah pinus*. Pengamatan morfologi *biocomposite* melalui SEM dilakukan dengan pembesaran 50x dan 150x. Hasil pengamatan SEM yang ditunjukkan pada gambar 10. menunjukkan bahwa ikatan antara matriks getah pinus dan lem putih dengan serbuk kayu kurang bagus, yang menyebabkan masih adanya void dan crack pada spesimen yang dapat dilihat pada gambar 9. Kualitas ikatan antara serbuk kayu dengan getah pinus dan lem putih dari *biocomposite* serbuk kayu/lem PVAc/getah pinus mempengaruhi karakteristik fisik maupun mekanik dari *biocomposite* serbuk kayu/lem PVAc/getah pinus.



Gambar 10. Spesimen NaOH 5% Pembesaran 50x



Gambar 11. Spesimen NaOH 5% Pembesaran 150x

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pengaruh pengaruh fraksi volume serbuk kayu *green composite* serbuk kayu/getah pinus terhadap karakteristik fisik dan mekanik, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pengujian bending yang dilakukan dengan variasi persentase perendaman serbuk kayu dengan 1% NaOH, 3% NaOH dan 5% NaOH. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan bahwa tegangan bending tertinggi yaitu pada variasi persentase perendaman NaOH 1% sebesar 4,789 MPa. Nilai regangan tertinggi pada variasi persentase perendaman NaOH 1% sebesar 0,00566 dan nilai modulus elastisitas tertinggi pada variasi persentase perendaman NaOH 1% sebesar 1,855 GPa. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan nilai tegangan, regangan dan modulus elastisitas dari pengujian bending tidak sepenuhnya dipengaruhi oleh kepekatan larutan alkali, tetapi juga dapat dipengaruhi kualitas ikatan antara serbuk kayu dengan getah pinus.
2. Pengujian densitas menunjukkan nilai densitas terbesar didapatkan pada variasi perendaman NaOH 1% dengan nilai densitas sebesar 1,083 gr/cm³ dan nilai densitas terkecil sebesar 1,046 gr/cm³ pada variasi persentase perendaman NaOH 5%. Dapat disimpulkan bahwa, semakin pekat larutan alkali pada perendaman serbuk kayu, maka semakin kecil nilai densitas biokomposit serbuk kayu/lem PVAc/getah pinus.
3. Pada pengujian daya serap air (*water absorption*) Nilai tertinggi ditunjukkan pada variasi persentase

perendaman 5% NaOH dengan nilai sebesar 15,965% dan nilai terendah ditunjukkan pada variasi persentase perendaman NaOH 1% dengan nilai sebesar 11,506%. Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa, semakin pekat larutan alkali pada perendaman serbuk kayu, maka semakin besar kemampuan biokomposit untuk menyerap air. Hal ini berbanding terbalik dengan densitas biokomposit serbuk kayu/lem PVAc/getah pinus dengan treatment perendaman NaOH pada penguatnya.

4. Pengamatan SEM yang dilakukan dengan pembesaran 50x dan 150x pada *bio composite* serbuk kayu/lem PVAc/getah pinus menunjukkan bahwa semakin pekat larutan alkali pada perendaman serbuk kayu membuat semakin terkikisnya serbuk kayu sehingga ikatan yang terbentuk menjadi kurang baik menyebabkan terjadinya void yang dapat mempengaruhi karakteristik fisik dan mekanik *biocomposite* serbuk kayu/lem PVAc, getah pinus.

Daftar pustaka

- [1] .Susila I.M., N.P.G. Suardana., C.I.P.K. Kencanawati, Thanaya. I.N.A., & Adnyana. I.W.B., 2018, *The Effect Of Composition Of Plastic Waste Low Density Polyethylene (LDPE) with Sand Pressure Strength and Density of Sand/LDPE Composite*. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Vol. 593. No.1, pp 1-6
- [2] Lokantara Putu dan N.P.G.Suardana, 2009, *Studi Perlakuan Serat Serta Penyerapan Air Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Tapis Kelapa/Polyester*. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin. Vol.3 No 1, pp. 49-56.



Komang Ary Prasetya menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana pada Program Studi Teknik Mesin, pada tahun 2020.

Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik polimer komposit.

Simulasi Drag Reduction Pada Tractor Trailer Dengan Penambahan Boot Tail

Tondi Nihita Lulu Somana Valentino Naibaho, Ainul Ghurri,
dan Anak Agung Adhi Suryawan.

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Dewasa ini penggunaan kendaraan berat seperti truck sangatlah dibutuhkan namun besarnya gaya hambat yang ada pada truck mempengaruhi efisiensi dan menyebabkan polusi udara. Mengurangi gaya hambat pada kendaraan menjadi tantangan tersendiri demi mengurangi polusi udara dan meningkatkan penghematan energi. Adanya penambahan headroof, side skirts dan boot tail plates flaps dirancang dan diperkenalkan dengan tujuan mengurangi gaya hambat pada tractor-trailer. Penambahan alat-alat tersebut sudah menunjukkan pengurangan gaya hambat dari tractor trailer. Namun perlu dilakukan penelitian lebih lanjut yang bersifat komprehensif dan sistematis yang mencakup pengukuran gaya hambat, analisa medan aliran, dan pengkondisian lebih lanjut. Dalam studi dan penelitian ini penambahan boot tail plates flaps berdimensi 15°, 30°, 45° dengan variasi kecepatan 80, 90, 100 km/jam melalui tahap simulasi mampu mengurangi coefficient of drag pada truck. Dimana penambahan boot tail plates flaps 15 derajat memberi dampak penurunan coefficient of drag terbaik yakni pada kecepatan 80 km/jam memiliki nilai cd 0,80322698, kecepatan 90km jam nilai cd 0,80975351 dan 0,80516584 pada kecepatan 100km/jam. Dari hasil ini disimpulkan dengan ditambahkannya boot tail plates flaps mampu mengurangi coefficient of drag pada truck.

Kata kunci: Lorong udara, Truck, Boot Tail Plates Flaps, Aerodinamika

Abstract

Nowadays the use of heavy vehicles such as trucks is needed but the amount of drag that is on the truck affects efficiency and causes air pollution. Reducing the drag on the vehicle is a challenge in order to reduce air pollution and increase energy savings. The addition of headroof, side skirts and boot tail plates flaps was designed and introduced with the aim of reducing the drag on the tractor-trailer. The addition of these tools has shown a reduction in drag from the tractor trailer. However, further research that is comprehensive and systematic in nature needs to be done which includes the measurement of drag, flow field analysis, and further conditioning. In this study and research the addition of boot tail plates flaps with dimensions of 15°, 30°, 45° with variations in speed of 80, 90, 100 km/h through the simulation stage can reduce the coefficient of drag on trucks. Where the addition of 15-degree boot tail plates flaps gives the best decrease in coefficient of drag that is at a speed of 80 km/h value has a cd value of 0.80322698, a speed of 90km hours a cd value of 0.80975351 and 0.80516584 at a speed of 100km/hour. From these results it was concluded that the addition of boot tail plates flaps could reduce the coefficient of drag on trucks.

Keywords : Wind Tunnel, Tractor-Trailer, Boot Tail Plates Flaps, Aerodynamics

1. Pendahuluan

Aerodinamika merupakan salah satu cabang ilmu pengetahuan yang mempelajari mengenai interaksi antara fluida dengan benda-benda padat (*solid*) yang bergerak dalam suatu aliran secara relatif. Dahulu ilmu aerodinamika sangat berhubungan dengan teknologi pesawat terbang mengingat pentingnya keamanan dan ketahanan pesawat ketika berada di udara. Namun seiring dengan kemajuan teknologi kini tidak hanya di kembangkan pada pesawat saja namun kapal laut, motor serta mobil serta bangunan-bangunan yang bersifat statis.

Aerodinamika pada transportasi darat sangatlah penting namun aerodinamika pada pesawat dan mobil sangatlah berbeda. Gaya hambat yang berhubungan dengan transportasi disebut dengan CoD (Coefficient of Drag). Pada umumnya CoD

digunakan untuk merepresentasikan nilai hambatan udara yang terjadi pada mobil. Tingkat nilai CoD (Coefficient of Drag) yang baik untuk kendaraan produksi massal adalah 0,3-0,6 sedangkan Sports Car berada di antara 0,25-0,3. Untuk kendaraan besar seperti bus nilai CoD (Coefficient of Drag) berada pada angka 0,6-0,7 dan Truck berada pada 0,96 [4]. Semakin kecil nilai CoD suatu kendaraan maka pemakaian (Power) pada kendaraan tersebut akan semakin berkurang yang secara otomatis mempengaruhi penggunaan bahan bakar pada kendaraan tersebut. Besarnya nilai CoD pada truck yang bernilai 0,96 membuat para ahli dan industri otomotif mulai melakukan penelitian dan inovasi untuk mengurangi nilai drag dan konsumsi bahan bakar pada truck.

Pengujian terhadap truck dilengkapi dengan roof spoiler. Pengujian ini dilakukan dengan

menggunakan Open Circuit Wind Tunnel Subsonic hasil dari pengujian memperlihatkan penurunan nilai CDP (Coefficient Drag Pressure) variasi kelengkungan R54 dan $Re = 0,37 \times 10^5$ yakni 0,3663 atau turun 15,73% dibandingkan dengan desain sebelumnya.[1]

Pengujian terhadap gaya drag dengan menggunakan wind tunnel dan variasi kecepatan angin. Hasil dari pengujian yang dilakukan didapatkan bahwa semakin aerodinamis suatu kendaraan maka gaya drag yang dihasilkan semakin kecil dan stabil. [5]

Penelitian pada truck container, penelitian dilakukan dengan cara memberi modifikasi pada fairing gap. Dimana Panjang gap adalah 0,6 dan sudut gap 5° mampu mengurangi gaya drag pada tractor-trailer sebesar 16,4%. Pada penelitian ini juga menggunakan Fairing Cab Aero (ACF) yang merupakan kombinasi dari fairing cab-roff dan gap dengan memperpanjang fairing cabin aero (EACF) yang signifikan mampu mengurangi gaya hambat (drag force) sebesar 11,1 % dan 17,5%. Pemasangan fairing gap sangat mengurangi kecepatan aliran dan nilai drag pada tractor-trailer).[2]

Penelitian yang sama pada tractor-trailer. Pada percobaan ini tractor-trailer ditambahkan perangkat pengontrol aliran udara, fair fairing, fairing atap kabin, sayap pada ekor (tail boat) dan side skirt, dirancang untuk mengurangi gaya hambat pada tractor-trailer. Dengan adanya penambahan tersebut menghasilkan pengurangan gaya drag yang cukup signifikan 26,5% dalam koefisien drag dibandingkan dengan model traktor-trailer biasa ($CD \frac{1}{4} 0,693$). Dari hasil penelitian yang dilakukan juga didapatkan penghematan bahan bakar sebesar 13,4%.[3]

Pada penelitian kali ini akan dilakukan penelitian untuk mengurangi gaya drag pada tractor-trailer dengan menggunakan metode lain. Adapun metode yang ingin saya gunakan adalah dengan menambahkan sayap pada ekor (Boot Tail Plates Flaps) dengan menggunakan beberapa variasi sudut. Adapun besar sudut yang akan digunakan sebesar $15^\circ, 30^\circ,$ dan 45° . Dalam membuat model desain tractor trailer akan menggunakan Autodesk Inventor sedangkan untuk melakukan analisa aliran menggunakan ANSYS sebagai pembanding. Sehingga di harapkan mampu meperkecil gaya drag yang ada di tractor-trailer.

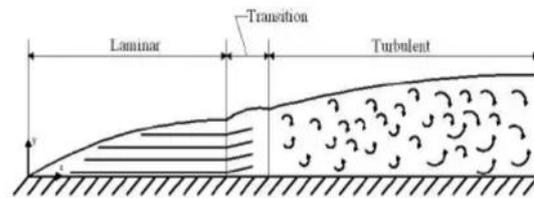
2. Dasar Teori

2.1 Lapisan Batas (Boundary Layer)

Lapisan batas adalah aliran yang berada di daerah permukaan yang dimana aliran tersebut diperlambat dikarenakan adanya gesekan antara permukaan padat dengan aliran. Pengaruh aliran tersebut dinyatakan dengan tegangan geser (*shear stress*, τ), yang disebabkan oleh velocity gradient yang sangat besar. Adapun *velocity gradient* muncul akibat adanya kondisi tidak slip yang dimana kecepatan fluida diatas fluida bernilai 0.

2.2 Klasifikasi Lapisan Batas

Secara garis besar lapisan batas (*Boundary Layer*) terdiri dari 3 bagian yakni : Lapisan batas laminar, lapisan batas teransisi dan lapisan batas turbulen.



Gambar 1. Klasifikasi Lapisan Batas

Pada lapisan batas laminar aliran fluida bergerak secara halus antara satu sama lainnya atau dengan kata lain lapisan batas laminar memiliki *streamline* yang saling paralel satu sama lainnya. Sedangkan pada lapisan batas turbulen, gerakan molekul fluida yang acak menyebabkan terjadinya fluktuasi kecepatan (baik pada arah paralel maupun tegak lurus terhadap aliran). Fluktuasi kecepatan pada arah tegak lurus aliran menyebabkan perpindahan massa dan momentum terjadi dalam jumlah yang sangat besar antar lapisan fluida.

2.3 Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds merupakan bilangan tak berdimensi yang dapat membedakan suatualiran itu dinamakan laminar, transisi atau turbulen. Apabila aliran udara melewati suatu benda, maka dapat disimpulkan bahwa besar bilangan Reynolds tersebut adalah :

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} \dots \dots \dots 1$$

Dimana :

- Re = Bilangan Reynolds
- ρ = Density Udara kg/m^3
- V = Kecepatan Udara (m/det)
- μ = Viskositas dinamik (kg/m.s)

2.4 Koefisien Of Drag

Drag merupakan hambatan pada suatu aliran benda. Drag terjadi akibat adanya gesekan yang terjadi pada dinding suatu benda terhadap fluida. Untuk mengatasi drag yang terjadi maka energi harus diberikan terhadap benda tersebut.

$$FD = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot CD \cdot A \cdot V^2 \dots \dots \dots (2)$$

- FD = Gaya drag (N)
- ρ = masa jenis fluida
- CD = Coefficient of Drag
- A = luas area yang ditabrak fluida
- V = kecepatan aliran (m/s)

2.5 Simulasi

Simulasi di lakukan dengan tujuan sebagai pembanding antara pengujian eksperimental dan pengujian secara simulasi. Adapun yang dilakukan pada proses simulasi antara lain.

1. Pembuatan benda uji yang sama dengan eksperimental
2. Pembuatan meshing
3. Penentuan boundary condition
4. Menjalankan proses kerja simulasi
5. Proses dan Hasil simulasi

3. Metode Penelitian

3.1 Simulasi

Pada penelitian kali ini Autodesk Inventor digunakan untuk mendesain truck dan aplikasi Ansys 16 untuk melakukan uji pengujian.

3.2 Tahapan Simulasi

Adapun tahapan yang dilakukan sebelum running simulasi di Ansys Fluent adalah :

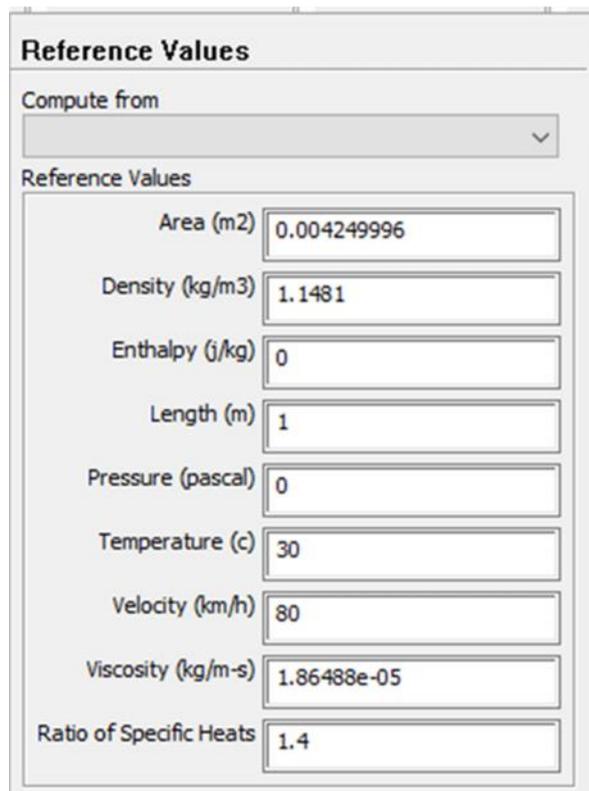
1. Pembuatan desain tractor trailer yang dimana desain dibuat dengan skala.
2. Membuat Part Boot Tail
3. Ekspor Desain agar bisa dibuka oleh Ansys Fluent
4. Membuka Ansys Fluent
5. Membuat Batas
6. Pembuatan Meshing
7. Set Reference Value pada Ansys
8. Running Pengujian pada Ansys

4. Hasil dan Pembahasan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan secara simulasi maka data tersebut akan ditampilkan dalam bentuk grafik agar mempermudah untuk menganalisa hasil. Berikut data yang didapatkan.

4.1 Hasil Pengujian Simulasi

4.1.1. Parameter simulasi

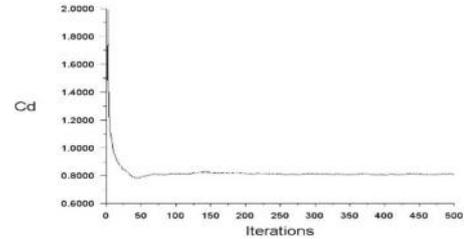


Gambar 2. Parameter Simulasi

Setelah dilakukan pengisian parameter maka pengujian dapat langsung dilakukan dan berikut hasil plot grafik hasil simulasi.

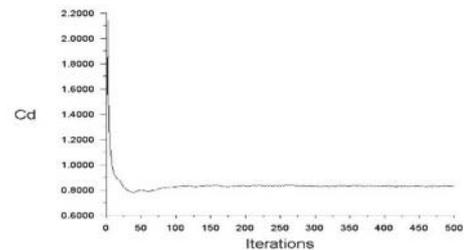
- a. Grafik tanpa boot tail (tracot trailer polos)

Kecepatan 80 km/jam



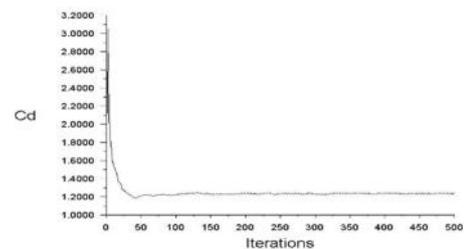
Gambar 3 Grafik tanpa boot tail kecepatan 80km/jam

Dari grafik kecepatan 80km/jam dengan parameter disesuaikan dengan keadaan saat melakukan esperimental diperoleh nilai CD 0,8119
Kecepatan 90 km/jam



Gambar 4 Grafik tanpa boot tail dengan kecepatan 90 km/jam

Dari grafik kecepatan 80km/jam dengan parameter disesuaikan dengan keadaan saat melakukan esperimental diperoleh nilai 0,8299814
Kecepatan 100 km/jam

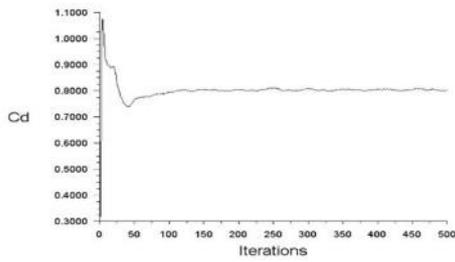


Gambar 5. Grafik Tanpa Boot Tail Kecepatan 100km/Jam

Dari grafik kecepatan 80km/jam dengan parameter disesuaikan dengan keadaan saat melakukan esperimental diperoleh nilai 1,2374501.

- b. Grafik menggunakan boot tail 15°

Kecepatan 80 km/jam

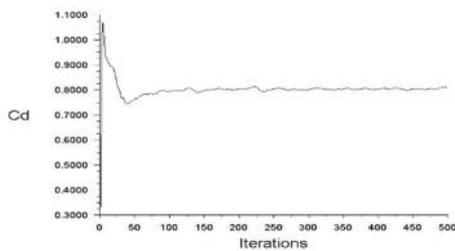


cd-1 Convergence History
ANSYS Fluent Release 16.0 (3d, dp, pbrns, skiv)
May 10, 2020

Gambar 6. Grafik dengan menggunakan boot tail 15° kecepatan 80 km/jam

Dari grafik kecepatan 80km/jam dengan parameter disesuaikan dengan keadaan saat melakukan esperimental diperoleh nilai 0,80322698.

Kecepatan 90km/jam

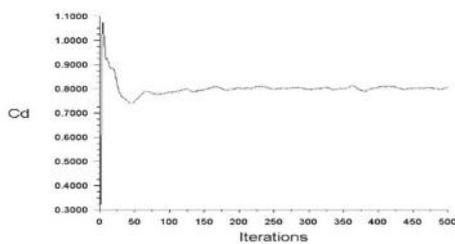


cd-1 Convergence History
ANSYS Fluent Release 16.0 (3d, dp, pbrns, skiv)
May 10, 2020

Gambar 7. Grafik dengan menggunakan boot tail 15° kecepatan 90 km/jam

Dari grafik kecepatan 90km/jam dengan parameter disesuaikan dengan keadaan saat melakukan esperimental diperoleh nilai 0,80975351.

Kecepatan 100km/jam



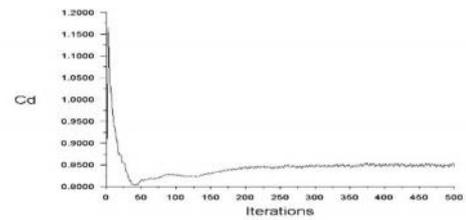
cd-1 Convergence History
ANSYS Fluent Release 16.0 (3d, dp, pbrns, skiv)
May 10, 2020

Gambar 8. Grafik dengan menggunakan boot tail 15° kecepatan 100 km/jam

Dari grafik kecepatan 100km/jam dengan parameter disesuaikan dengan keadaan saat melakukan esperimental diperoleh nilai 0,80516584

c. Grafik dengan menggunakan boot tail 30°

Kecepatan 80km/jam

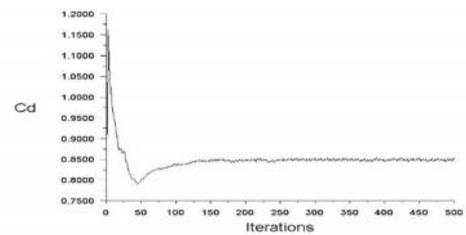


cd-1 Convergence History
ANSYS Fluent Release 16.0 (3d, dp, pbrns, skiv)
May 11, 2020

Gambar 9. Grafik dengan menggunakan boot tail 30° kecepatan 80 km/jam

Dari grafik kecepatan 80 km/jam dengan parameter disesuaikan dengan keadaan saat melakukan esperimental diperoleh nilai 0,84696008

Kecepatan 90 km/jam

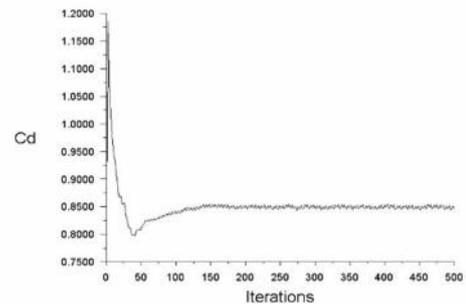


cd-1 Convergence History
ANSYS Fluent Release 16.0 (3d, dp, pbrns, skiv)
May 11, 2020

Gambar 10. Grafik dengan menggunakan boot tail 30° dengan kecepatan 90 km/jam

Dari grafik kecepatan 80 km/jam dengan parameter disesuaikan dengan keadaan saat melakukan esperimental diperoleh nilai 0,85034047

Kecepatan 100 km/jam



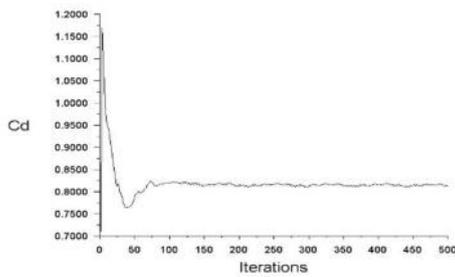
cd-1 Convergence History
ANSYS Fluent Release 16.0 (3d, dp, pbrns, skiv)
May 11, 2020

Gambar 11. Grafik dengan menggunakan boot tail 30° kecepatan 100km/jam

Dari grafik kecepatan 80 km/jam dengan parameter disesuaikan dengan keadaan saat melakukan esperimental diperoleh nilai 0,84791236

d. Grafik dengan menggunakan boot tail 45°

Kecepatan 80 km/jam

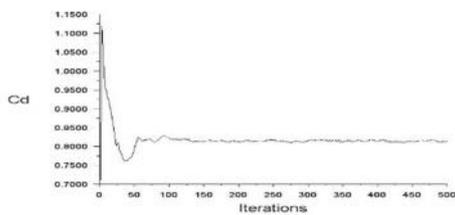


cd-1 Convergence History May 12, 2020 ANSYS Fluent Release 16.0 (3d, dp, p1ns, skiv)

Gambar 12. Grafik dengan menggunakan boot tail 45° kecepatan 80km/jam

Dari grafik kecepatan 80 km/jam dengan parameter disesuaikan dengan keadaan saat melakukan esperimental diperoleh nilai 0,81170288

Kecepatan 90 km/jam

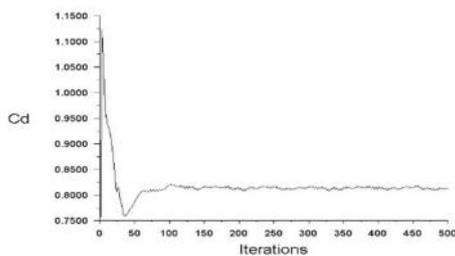


cd-1 Convergence History May 12, 2020 ANSYS Fluent Release 16.0 (3d, dp, p1ns, skiv)

Gambar 13. Grafik dengan menggunakan boot tail 45° kecepatan 90km/jam

Dari grafik kecepatan 80 km/jam dengan parameter disesuaikan dengan keadaan saat melakukan esperimental diperoleh nilai 0,81375741

Kecepatan 100 km/jam



cd-1 Convergence History May 12, 2020 ANSYS Fluent Release 16.0 (3d, dp, p1ns, skiv)

Gambar 14. Grafik dengan menggunakan boot tail 45° kecepatan 100km/jam

Dari grafik kecepatan 80 km/jam dengan parameter disesuaikan dengan keadaan saat melakukan esperimental diperoleh nilai 0,8139597.

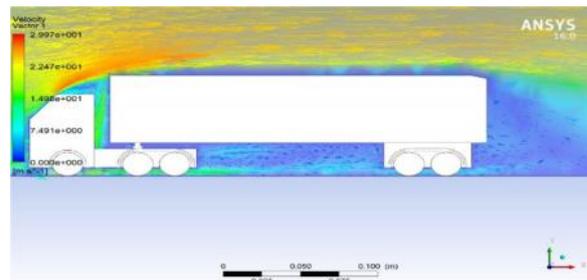
4.2 Hasil Simulasi

No	Jenis Truk	DATA					
		80 km/jam		90 km/jam		100 km/jam	
		FD (N)	CD	F (N)	CD	F (N)	CD
1	Tanpa Boot Tail	0,97825119	0,81196223	1,265575	0,8299814	1,4908785	1,2374501
2	Boot tail 15	0,96772559	0,80322698	1,2347294	0,80975351	1,515721	0,80516584
3	Boot Tail 30	1,0204153	0,84696008	1,2966175	0,85034047	1,5961915	0,84791236
4	Boot tail 45	0,97793733	0,81170288	1,2408346	0,81375741	1,5322755	0,81395972

Gambar 15. Hasil Simulasi

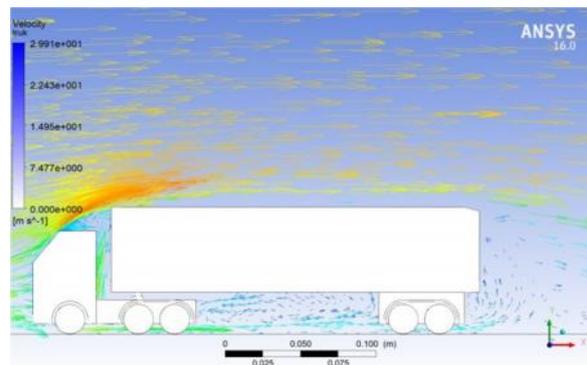
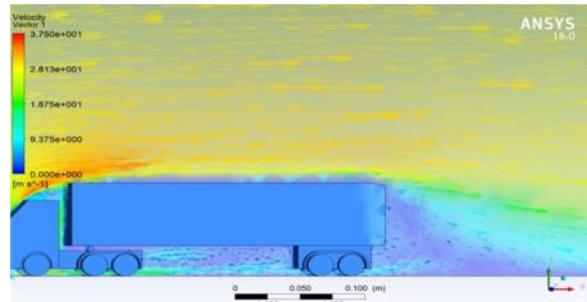
4.3 Visualisasi Aliran Simualsi

A. Visualisasi aliran kecepatan 80 boot tail 15°



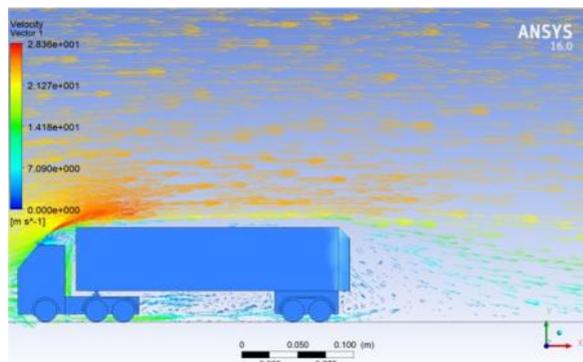
Gambar 16 Visualisasi aliran pada kecepatan 80km/jam boot tail 15°

B. Visualiasi aliran kecepatan 100 dengan boot tail 15°



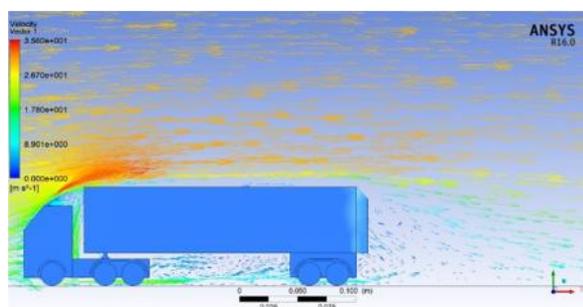
Gambar 17 Visualisasi aliran pada kecepatan 100 boot tail 15°

C. Visualisasi aliran kecepatan 80 dengan boot tail 45°



Gambar 18 Visualisasi aliran pada kecepatan 80km/jam boot tail 45°

D. Visualisasi aliran kecepatan 100 boot tail 45°



Gambar 19 Visualisasi aliran pada kecepatan 100km/jam boot tail 45°

5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian secara simulasi yang sudah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut: Secara simulasi menggunakan Ansys 16 penggunaan boot tail 15° sebagai boot tail terbaik dalam mengurangi coefficient of drag dibandingkan dengan boot tail 30° dan boot tail 45°. Pada hasil simulasi visualisasi aliran yang didapatkan sudah sesuai dengan dimana dengan ditambahkannya boot tail mampu mengurangi wake pada area belakang truck sehingga mampu mengurangi coefficient of drag pada truck.

Daftar Pustaka

- [1] Aprilyantom, B. A. G. U. S., 2016, *Karakteristik Aerodinamika Pada Kendaraan Jenis Truk Yang Dilengkapi Roof Spoiler*, JTM. Vol. 04, No. 03, pp. 367–376.
- [2] Kim J. J., 2019, *Considerable Drag Reduction And Fuel Saving Of A Tractor-Trailer Using Additive Aerodynamic Devices*, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 191, pp. 54–62.
- [3] Kim J. J., 2017, *Substantial Drag Reduction Of A Tractor-Trailer Vehicle Using Gap*

Fairings, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, pp. 93–100.

- [4] Ray, 2019, *Mengenal Istilah Koefisien Drag pada Mobil* www.cnnindonesia.com
- [5] Suswanto, B, Finahari, N., 2013, *Studi Pengaruh Model Mobil Dan Variasi Kecepatan Angin Terhadap Gaya Drag*, Jurnal Universitas Widyagama, pp. 14–19.



Tondi Nihita Lulu Somana Valentino

menyelesaikan studi di SMA Angkasa 2 Jakarta Timur pada tahun 2016, kemudian melanjutkan program sarjana di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana pada tahun 2016, dan menyelesaikannya pada tahun 2020.

Bidang penelitian yang diminati adalah Konversi Energi, mengenai Coefficient Of Drag.

Karakterisasi Karbon Aktif Tempurung Kelapa dengan Variasi Konsentrasi Aktivator Terhadap Adsorpsi Timbal

Argenes Saragih, Ni Made Dwidiani, IGN Nitya Santhiarsa
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Proses aktivasi bertujuan memperbesar pori yaitu dengan cara memecahkan ikatan hidrokarbon. Upaya untuk memaksimalkan adsorpsi karbon aktif ialah dengan memvariasikan konsentrasi aktivator asam fosfat (H_3PO_4) pada karbon aktif. Pembuatan karbon aktif dilakukan dengan cara yakni pembersihan material, karbonisasi, aktivasi kimia dengan H_3PO_4 dengan menggunakan autoclave, dilanjutkan proses pencucian. Karakterisasi karbon aktif yang dilakukan antara lain SEM (Scanning Electron Microscopy), uji Proximate, sedangkan performance karbon aktif tempurung kelapa diketahui dengan melakukan pengujian adsorpsi terhadap timbal menggunakan Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi H_3PO_4 akan meningkatkan morfologi pembentukan pori dan daya adsorpsi terhadap timbal. Penyerapan terhadap timbal pada 2 Molar, 3 Molar, dan 4 Molar berturut-turut 89,11%, 97,07% dan 97,27%.

Kata kunci : tempurung kelapa, karbon aktif, H_3PO_4 , timbal

Abstract

The activation process aims to enlarge the pore by breaking the hydrocarbon bonds. The effort to maximize adsorption of activated carbon is to vary the concentration of phosphoric acid activator (H_3PO_4) on activated carbon. Making activated carbon is done by means of cleaning the material, carbonization, chemical activation with H_3PO_4 using an autoclave, followed by the washing process. Characterization of activated carbon carried out include SEM (Scanning Electron Microscopy), Proximate test, while the performance of activated carbon of coconut shell is known by conducting adsorption testing of lead using an Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). The test results show that the greater the concentration of H_3PO_4 will increase the morphology of pore formation and the adsorption power of lead. Lead absorption at 2 Molar, 3 Molar and 4 Molar was 89.11%, 97.07% and 97.27%.

Keywords : coconut shell, activated carbon, H_3PO_4 , lead

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil kelapa terbesar di dunia karena memiliki iklim yang tropis. Namun tempurung kelapa terjadi penumpukan pada penyimpanannya karena kurang dikelola dengan baik oleh masyarakat.

Tempurung kelapa memiliki keunggulan untuk dimanfaatkan menjadi bahan karbon aktif antara lain kemudahan untuk didapatkan secara komersial dan memiliki kandungan lignoselulosa yang dapat dikonversi menjadi material dengan kadar karbon yang tinggi. Karbon merupakan material padat hitam yang memiliki pori dari proses pembakaran dan aktivasi bahan kayu atau bahan yang mengandung senyawa karbon.

Adsorpsi timbal (Pb) merupakan salah satu manfaat yang dapat diberikan oleh karbon aktif. Keracunan timbal dapat menyebabkan gangguan sistem peredaran darah pada jantung, reproduksi, saraf dan urin pada kesehatan manusia. Adsorpsi adalah proses difusi molekul adsorbat dari suatu lapisan batas menuju lapisan luar permukaan adsorben (karbon aktif) dan dalam pori-pori adsorben [1].

Penggunaan jenis larutan dan konsentrasi aktivator pada proses aktivasi kimia berfungsi dalam

dekomposisi ikatan hidrokarbon dalam material sehingga meningkatkan pembentukan pori yang berpengaruh terhadap daya adsorpsi dari karbon aktif yang dihasilkan. Oleh karena itu, pentingnya pemanfaatan secara mendalam terhadap tempurung kelapa sebagai bahan karbon aktif perlu dilakukan sehingga tempurung kelapa memiliki nilai guna lebih, dan juga dapat menjadi salah satu cara alternatif dalam mereduksi penumpukan jumlah tempurung kelapa dalam timbunan sampah.

2. Dasar teori

2.1 Karbon Aktif

Karbon aktif/arang aktif, merupakan arang yang diaktifkan melalui proses kimia maupun fisika. Perbedaan karbon aktif dengan karbon biasa dapat dilihat pada morfologi permukaannya. Permukaan karbon aktif memiliki pori-pori (*internal urface*) yang terbuka dan bersih dari deposit senyawa pengotor lainnya, sehingga akan meningkatkan efektifitas adsorpsi dalam pengolahan limbah cair.

Pada umumnya karbon aktif memiliki bentuk butiran (granular) dengan distribusi ukuran partikel 0.8-1.2 mm atau serbuk halus memiliki ukuran 5-10 μ m. Komponen dari karbon aktif ini terdapat

beberapa bagian yaitu abu, karbon tetap, air, volatile, sulfur dan nitrogen. Terdapat 2 cara utama dalam mengaktifkan karbon, yaitu dengan pembakaran (karbonisasi) dan aktivasi yang dilakukan dengan dua cara yaitu fisika dan kimia. Karbonisasi berguna terjadinya dekomposisi senyawa pengotor dari material. Aktivasi merupakan proses peningkatan penghilangan senyawa volatil yang masih belum dapat dihilangkan pada proses pembakaran.

2.2 Tempurung Kelapa

Kelapa (*Cocos nucifera L.*) termasuk family *Palmae* dari genus *Cocos*. Tempurung kelapa memiliki kandungan lignoselulosa yang dapat dimanfaatkan menjadi bahan karbon aktif. Kelapa banyak dimanfaatkan untuk bahan pangan masyarakat sehari-hari berasal dari daging buah kelapa, sehingga tempurung kelapa kurang dimanfaatkan dan terjadi penumpukan pada penyimpanannya. Parameter pemilihan bahan tempurung kelapa tertuju pada luas permukaan yang dihasilkan, sehingga kemampuan penyerapan adsorbat akan semakin meningkat seiring dengan peningkatannya pori yang terbentuk [2].

2.3 Aktivasi

Aktivasi adalah proses untuk membuat karbon menjadi aktif dengan mengoksidasi molekul-molekul hidrokarbon. Aktivasi bertujuan untuk meningkatkan keaktifan material sehingga mengalami perubahan sifat fisik dan kimia dalam kemampuan adsorpsi. Pada penelitian ini hanya menggunakan aktivasi kimia dan yang menjadi variable pada penelitian ini adalah variasi konsentrasi aktivator.

Aktivasi metode kimia ialah proses perendaman dengan menggunakan bahan kimia sebagai aktivator untuk menguraikan karbon dari kandungan senyawa-senyawa selulosa, hemiselulosa dan lignin sehingga kadar karbon tetap yang akan terbentuk semakin meningkat. Aktivator H_3PO_4 merupakan senyawa kimia yang digunakan sebagai pengaktif pada karbon aktif untuk meningkatkan performansi daya adsorpsi karbon aktif dalam penyerapan logam berat timbal (Pb).

Pemilihan H_3PO_4 sebagai *activating agent* berdasarkan sifat reaktifnya dengan air yang dapat menguraikan senyawa hidrokarbon sehingga rongga atau pori yang terbentuk dari material karbon aktif akan terlihat lebih terbuka [3]. Keunggulan lainnya dari aktivator H_3PO_4 yaitu memudahkan dalam proses pencucian dengan penggunaan akuades untuk menghilangkan senyawa pengotor dan zat senyawa kimia yang masih melekat pada permukaan pori-pori

karbon aktif yang dapat mempengaruhi kapasitas adsorpsi karbon aktif yang dihasilkan.

Peningkatan konsentrasi aktivator yang berlebih akan dapat merusak struktur pori yang terbentuk dan menurunkan performansi daya adsorpsi dari karbon aktif dikarenakan *over activation* konsentrasi senyawa kimia [4].

2.4 Timbal (Pb)

Timbal (Pb) merupakan unsur logam berat yang memiliki kelarutan rendah di lingkungan perairan dan dapat mengganggu kesehatan manusia jika masuk kedalam tubuh atau keracunan timbal [5].

Pengujian kemampuan adsorpsi timbal menggunakan alat *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS). Konsentrasi timbal yang terserap digunakan untuk mengetahui karakteristik kemampuan adsorpsi karbon aktif tempurung kelapa:

$$Q_{Pb} = \left(\frac{C_i - C_e}{w} \right) \times V \quad (1)$$

Dimana:

C_i = Konsentrasi adsorbat awal (mg/L)

C_e = Konsentrasi adsorbat sisa (mg/L)

Q_{Pb} = Kapasitas adsorpsi timbal (mg/g)

V = Volume larutan timbal (ml)

W = Berat karbon (gr) [6]

Keterangan:

Volume larutan timbal = 20 ml

$W = 0,1$ gr

Konsentrasi timbal yang teradsorpsi didapat dari alat AAS.

3. Metode Penelitian

3.1 Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental. Proses pembuatan bahan karbon aktif yang dijelaskan pada skema desain penelitian sebagai berikut.



Gambar 1. Skema desain penelitian

3.2 Variabel Penelitian

1. Variabel bebas
 - a. Konsentrasi H_3PO_4 2, 3, dan 4 Molar
2. Variabel terikat
 - a. Daya serap Timbal
 - b. Morfologi permukaan karbon aktif tempurung kelapa
3. Variabel kontrol
 - a. Suhu karbonisasi, suhu pengeringan.
 - b. Waktu aktivasi

3.3 Peralatan Pengujian

1. Oven untuk pengeringan.
2. Kendi dari tanah liat sebagai wadah untuk

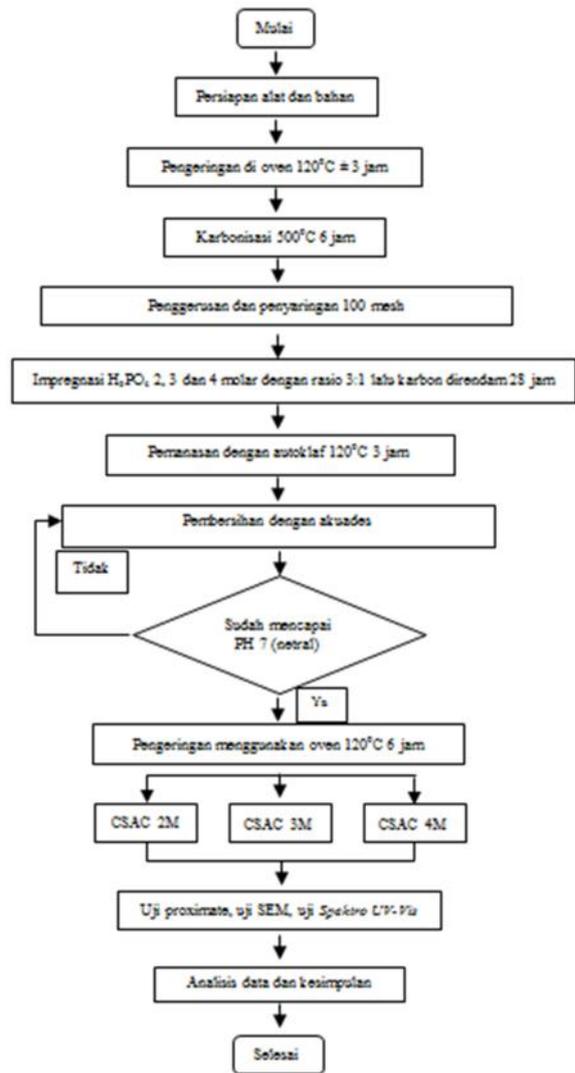
- pemanasan material.
- 3. Loyang oven untuk wadah material.
- 4. Furnace untuk karbonisasi.
- 5. *Thermocouple* mengetahui suhu karbonisasi.
- 6. Mortal untuk menghaluskan arang.
- 7. Saringan 100 *mesh* untuk menyaring arang.
- 8. Timbangan
- 9. Kertas indikator pH.
- 10. *Autoclave* untuk proses aktivasi kimia.
- 11. *Proximate Analyzer* untuk menganalisis kandungan karbon dari sampel karbon aktif.
- 12. *Scanning Electron Microscope (SEM)*.
- 13. *Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)*.

3.4 Prosedur Pelaksanaan

Adapun tahapan pembuatan karbon aktif tempurung kelapa terdiri dari 3 tahap utama, yakni tahap pengeringan, karbonisasi, dan aktivasi kimia. Adapun penjelasannya sebagai berikut.

1. Tahap Pengeringan
 - a. Tempurung kelapa dibersihkan dan dicuci menggunakan air yang mengalir lalu dikeringkan selama 24 jam.
 - b. Tempurung kelapa dikeringkan didalam oven selama 3 jam pada suhu 120°C.
2. Tahap Karbonisasi
 - a. Tempurung kelapa dikarbonisasi di dalam *furnace* 6 jam dengan suhu 500°C. Dalam proses karbonisasi ini untuk meminimalisir reaksi dengan oksigen, digunakan pasir silika (*silicon dioksida*) sebagai pengisi ruang kosong kendi tempat karbonisasi.
 - b. Arang tempurung kelapa digerus dengan mortal.
 - c. Arang tempurung kelapa kemudian diayak menggunakan saringan 100 mesh.
3. Tahap Aktivasi
 - a. Arang tempurung kelapa diaktivasi kimia dengan larutan H₃PO₄ dan direndam selama 28 jam dengan variasi konsentrasi 2, 3 dan 4 molar serta rasio berat (H₃PO₄ : arang) 3:1.
 - b. Sampel diautoklaf 120°C selama 3 jam
 - c. Karbon aktif dicuci dengan akuades sampai pH 7 netral.
 - d. Karbon aktif tempurung kelapa dikeringkan dalam oven pada suhu 120°C selama 6 jam.
 - e. Karbon aktif yang sudah dikeringkan siap untuk diuji.

3.5 Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Langkah-Langkah Penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

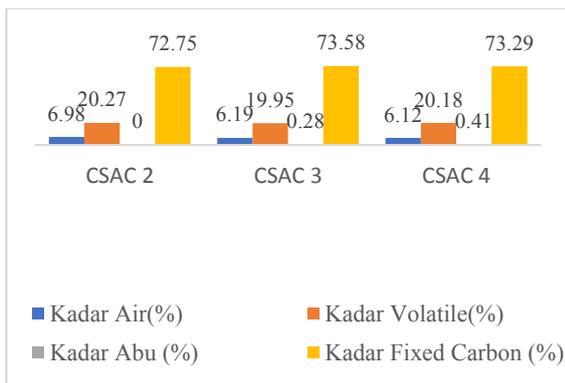
4.1 Uji Proximate

Uji proximate ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh besarnya kandungan *fixed carbon* terhadap variasi konsentrasi H₃PO₄. berdasarkan ASTM D7582 MVA *BIOMASS*.

Berdasarkan data tabel di atas, kadar karbon tetap tertinggi pada sampel CSAC 3 yaitu 73,58 %. Tinggi rendahnya nilai karbon tetap dipengaruhi dengan nilai kadar abu, kadar air dan kadar volatile. Kadar abu dan kadar *volatile* pada sampel CSAC 4 meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi H₃PO₄. *Fixed carbon* suatu karbon aktif semakin tinggi bila kadar *volatile* dan kadar abu yang dihasilkan rendah [7].

Tabel 1. Data hasil uji proximate

Sampel	Kadar Air (%)	Kadar Volatile (%)	Kadar Abu (%)	Kadar Fixed Carbon (%)
CSAC 2	6,98	20,27	0,00	72,75
CSAC 3	6,19	19,95	0,28	73,58
CSAC 4	6,12	20,18	0,41	73,29



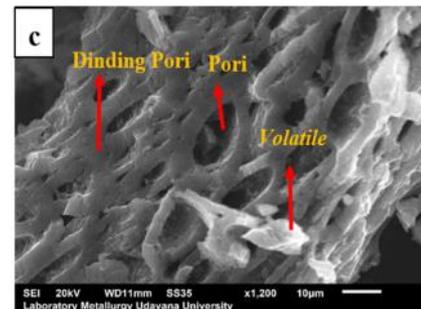
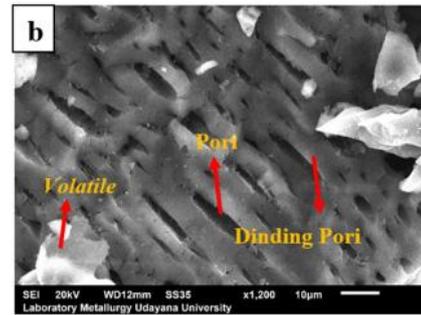
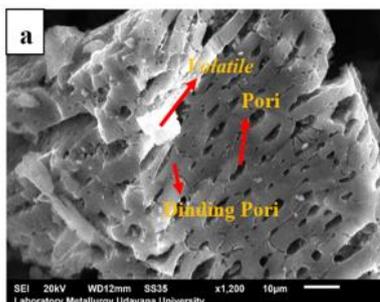
Gambar 3. Grafik Hasil Uji Proximate

Berdasarkan data grafik di atas, terlihat bahwa persentase kadar air mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya konsentrasi H_3PO_4 . Penurunan kadar air ini berhubungan dengan sifat *dehydrating agent* H_3PO_4 yang mengikat molekul air yang terkandung dan akan ikut menguap saat pengeringan.

Nilai kadar abu meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi aktivator H_3PO_4 . Hal ini dikarenakan terjadinya pembentukan pori yang menghasilkan abu oleh proses pembakaran pada bidang karbon aktif permukaan karbon aktif [8]. Sehingga semakin banyak pori yang dihasilkan maka kadar abu akan meningkat juga.

Variasi konsentrasi H_3PO_4 pada sampel terhadap nilai kadar *volatile* tidak menunjukkan perbedaan nilai yang signifikan. Kadar *volatile* ini disebabkan oleh proses pencucian sampel yang belum mencapai nilai maksimal sehingga sisa aktivator masih melekat pada sampel.

4.2 Uji SEM



Gambar 4. Morfologi Permukaan karbon aktif dengan pembesaran 1200x;

(a) CSAC 2 M, (b) CSAC 3 M, (c) CSAC 4 M

4.2.1 Morfologi Permukaan

Gambar 4 (a) menunjukkan morfologi permukaan pori dari sampel CSAC 2 terlihat masih belum banyak pori yang terbentuk dan tidak teratur, untuk sampel (b) CSAC 3 dan (c) CSAC 4 lebih banyak pori dan bentuk struktur porinya lebih teratur.

Berdasarkan bentuk pori masing-masing sampel, dapat dijelaskan bahwa peningkatan konsentrasi H_3PO_4 , membentuk rongga pori-pori yang meningkat dan memperluas permukaan karbon aktif yang dari berbentuk tidak teratur menjadi oval karena pori yang dihasilkan semakin banyak [9].

4.2.2 Bagian Karbon Aktif

Hasil pengujian oleh *Scanning Electron Microscope* (SEM) memperlihatkan 3 bagian utama dari sampel karbon aktif tempurung kelapa, yakni, dinding pori, *volatile* (zat pengotor) dan pori-pori. Terlihat ukuran pori dari karbon aktif tempurung kelapa semakin besar seiring menurunnya ukuran dinding pori oleh meningkatnya konsentrasi aktivator. Sampel (c) CSAC 4 memiliki ukuran pori yang paling besar.

4.3 Uji Adsorpsi Timbal

Uji penyerapan dilakukan untuk melihat seberapa besar kemampuan karbon aktif tempurung kelapa dalam penyerapan timbal.

Karbon ditimbang 0,1 g lalu dicampur kedalam larutan timbal 10 ppm 20 ml setelah itu diaduk

dengan *magnetic stirrer* selama 60 menit. Kemudian dilakukan penyaringan dengan kertas *whatman 42* dan hasil filtratnya diukur konsentrasinya dengan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS). Hasil adsorpsi timbal ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil data uji adsorpsi timbal 10 PPM

Sampel	C _{sisa} (ppm)	C _{terserap} (ppm)	X _m (mg/g)	PT (%)
CSAC2	1,08	8,92	177,8	89,11
CSAC3	0,29	9,71	193,8	97,07
CSAC4	0,27	9,73	194,2	97,27

Dari tabel 2 didapatkan peningkatan konsentrasi H₃PO₄ akan semakin meningkatkan adsorpsi timbal. Semakin besar dan banyak sisi aktif dinding sel karbon aktif yang dihasilkan menyebabkan interaksi difusi timbal akan semakin efektif [10]. Penyerapan maksimum timbal yang terjadi pada penelitian ini ada pada sampel CSAC 4 sebesar 97,07% dan kapasitas adsorpsi 194,2 mg/g. Adsorpsi yang terjadi dikarenakan adanya gaya tarik menarik antar permukaan timbal dan karbon aktif atau berdifusi dari adsorbat menuju adsorben yang oleh adanya ikatan Van Der Waals.

5. Kesimpulan

1. Peningkatan konsentrasi berpengaruh terhadap ukuran pori dan karakteristik (*fixed carbon*) karbon aktif tempurung kelapa. Dengan bertambahnya konsentrasi aktivator H₃PO₄ 2, 3, dan 4 Molar, meningkatkan pembentukan pori dan meningkatkan kadar *fixed carbon* dari 72,75% menuju nilai tertinggi 73,58 % dan menurun dengan nilai 73,29 %.
2. Peningkatan konsentrasi aktivator H₃PO₄ 2, 3, dan 4 Molar karbon aktif tempurung kelapa meningkatkan daya adsorpsi terhadap timbal. Daya adsorpsi terhadap timbal meningkat berturut-turut sebesar 89,11%, 97,07%, dan 97,27%.

Daftar Pustaka

[1] Hartini L., 2014, *Karakterisasi Karbon Aktif Teraktivasi NaCl Dari Ampas Tahu*.

[2] Yuliusman Y., 2016, *Pembuatan Karbon Aktif Dari Tempurung Kelapa Melalui Aktifasi Kimia Dengan Koh Dan Fisika Dengan Co2*, Seminar Nasional Teknik Kimia, (June), pp. 1-6.

[3] Medan U. and Tamiang A., 2018, *Karakterisasi Mikrostruktur Karbon Aktif Tempurung Kelapa*

dan Kayu Bakau Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sumatera
Characterization of Activated Carbon Microstructure of Coconut Shell and Mangrove Wood Indonesia sebagai negara tropis, 4(1), pp. 45–54.

[4] Fisika, D. *Et Al.*, 2016, *Tongkol Jagung Sebagai Filter Air*.

[5] Deviyanti, Side S. H. N., 2014, *Kapasitas Adsorpsi Arang Aktif Kulit Singkong terhadap Ion Logam Timbal (Pb 2+) Adsorption Capacity of Active Charcoal of Cassava Peel to Pb 2+ Ion* Deviyanti, 2 Sumiati Side, 3), Jurnal Chemica, Vol.5 No.2, pp. 58–65.

[6] Anita Imawati A., 2015, *Kapasitas Adsorpsi Maksimum Ion Pb(II) Oleh Arang Aktif Ampas Kopi Teraktivasi Hcl Dan H3po4*, Vol.4 No.2.

[7] Verlina, wa ode, 2014, *Potensi Arang Akif Tempurung Kelapa sebagai Adsorben Emisi Gas CO, NO, dan NO*, Kimia FMIPA UNHAS, 1(x).

[8] Suryani, D. A., Hamzah, F. and Johan, V. S., 2018, *Variasi Waktu Aktivasi terhadap Kualitas Karbon Aktif Tempurung Kelapa*, 5(1), pp. 1–10.

[9] Po, D. A. N. H. *Et Al.*, 2015, *Pengaruh Penambahan Aktivator Zncl 2 , Koh, Dan H 3 Po 4 Terhadap Produk Karbon Aktif Dari Pelepah Aren (Arenga Pinnata)*.

[10] Sangkota V. D. A., Supriadi S. and Said I., 2017, *Pengaruh Aktivasi Kimia Arang Tanaman Eceng Gondok (eichhornia crassipes) Terhadap Adsorpsi Logam Timbal (Pb)*, Jurnal Akademika Kimia, Vol.6 No.1, pp. 48. doi: 10.22487 /j24775185.2017.v6.i1.9228.



Argenes Saragih menyelesaikan studi program sarjana di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2016 sampai 2020. Menyelesaikan studi program sarjana dengan topik penelitian Karakterisasi Karbon Aktif Tempurung Kelapa dengan Variasi Konsentrasi Aktivator Terhadap Adsorpsi Timbal.

Simulasi Pengaruh Penambahan Headroof Spoiler Pada Truk Dengan Aplikasi Cfd

Nizam Firman Nur Habibie, Ainul Ghurri, Anak Agung Adhi Suryawan
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali 80361

Abstrak

Salah satu cara yang cukup efektif untuk menambah kecepatan dari kendaraan tersebut serta menghemat penggunaan bahan bakarnya adalah dengan melakukan pengurangan *coefficient of drag (CD)* pada kendaraan. Pada truck trailer, koefisien tahanan bernilai 0,96 yang merupakan nilai koefisien tahanan tinggi dibandingkan dengan kendaraan penumpang umumnya. Adanya penambahan headroof spoiler pada truck trailer merupakan upaya untuk mengurangi koefisien tahanan dari truck trailer yang tinggi. Metode numerik dengan menggunakan aplikasi Computational Fluid Dynamics (CFD) Ansys Fluent adalah metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini. Analisis dijalankan dengan menggunakan kecepatan aliran 80km/jam, 90km/jam, dan 100 km/jam dengan menggunakan viskositas *k-Omega*. Analisis dilakukan dengan membandingkan tiap simulasi penggunaan truck trailer tanpa headroof dan dengan penambahan headroof A, B, dan C disetiap kecepatannya. Dari hasil simulasi yang dilakukan dengan aplikasi Computational Fluid Dynamics (CFD) Ansys Fluent didapatkan bahwa penggunaan headroof spoiler mampu mengurangi koefisien tahanan dengan headroof C yang mampu mengurangi koefisien tahanan terbaik dengan nilai tiap kecepatan adalah 80km/jam = 0,78188, 90km/jam = 0,77475, dan 100km/jam = 0,77858.

Kata kunci: Koefisien tahanan, CFD, Headroof spoiler, Ansys Fluent.

Abstract

One of the effective ways to increase the speed of the vehicle and to save fuel usage is to reduce the coefficient of drag (CD) on the vehicle. In the trailer truck, the coefficient of resistance is 0.96 which is a high value of the coefficient of resistance compared to general passenger vehicles. The addition of a spoiler headroof to the trailer truck is an effort to reduce the high coefficient of resistance of the trailer truck. The numerical method using the Ansys Fluent Computational Fluid Dynamics (CFD) application is the analytical method used in this study. The analysis was carried out using flow rates of 80km / h, 90km / h and 100 km / h using *k-Omega* viscosity. The analysis is done by comparing each simulation of the use of a trailer truck without headroof and with the addition of headroof A, B, and C at each speed. From the results of simulations carried out with the Ansys Fluent Computational Fluid Dynamics (CFD) application, it was found that the use of a spoiler headroof is able to reduce the coefficient of resistance with C headroof which is able to reduce the best resistance coefficient with the value of each speed is 80km / hour = 0.78188, 90km / hour = 0.77475, and 100km / hour = 0.77858.

Keywords: Coefficient of drag, CFD, Headroof Spoiler, Ansys Fluent.

1. PENDAHULUAN

Drag Force atau gaya hambat dalam dinamika fluida adalah suatu gaya yang dapat menghambat pergerakan sebuah benda padat melalui sebuah fluida (udara). Sejumlah gaya gesek yang bertindak sejajar dengan permukaan benda, ditambah dengan adanya gaya tekan, yang bertindak dalam arah tegak lurus dengan permukaan benda merupakan bentuk gaya hambat yang paling umum.

Salah satu cara yang cukup efektif untuk menambah kecepatan dari kendaraan tersebut serta menghemat penggunaan bahan bakarnya adalah dengan melakukan pengurangan koefisien tahanan (*coefficient of drag*) pada suatu kendaraan. Nilai koefisien tahanan (*coefficient of drag*) truck memiliki nilai yang sangat besar yakni bernilai 0,96. Hal ini membuat dilakukannya penelitian dan inovasi oleh para ahli dan industri otomotif untuk mengurangi nilai drag dan konsumsi bahan bakar pada truk [1].

Dari hasil penelitian sebelumnya ketika mobil bergerak, untuk menggerakkan roda mobil dengan

kelajuan sekitar 145 km/jam sebesar 75% daya digunakan untuk mengatasi tahanan atau gaya hambat udara dari mobil (Drag Force), Marzuqi,dkk (2016) [2].

Kim, dkk (2017) [3] juga melakukan penelitian pada *truck container*, penelitian dilakukan dengan cara memberi modifikasi pada *fairing gap*. Dimana Panjang gap adalah 0,6 dan sudut gap 5° mampu mengurangi gaya drag pada tractor-trailer sebesar 16,4%. Pada penelitian ini juga menggunakan Fairing Cab Aero (ACF) yang merupakan kombinasi dari fairing cab-roff dan gap dengan memperpanjang fairing cabin aero (EACF) yang signifikan mampu mengurangi gaya hambat (*drag force*) sebesar 11,1 % dan 17,5%. Pemasangan fairing gap sangat mengurangi kecepatan aliran dan nilai drag pada *tractor-trailer*).

Kim dkk. (2019) [4] juga melakukan penelitian yang sama pada tractor-trailer. Pada percobaan ini tractor-trailer ditambahkan perangkat pengontrol aliran udara, fair fairing, fairing atap kabin, sayap

pada ekor (*tail boat*) dan *side skirt*, dirancang untuk mengurangi gaya hambat pada tractor-trailer. Dengan adanya penambahan tersebut menghasilkan pengurangan gaya drag yang cukup signifikan 26,5% dalam koefisien drag dibandingkan dengan model traktor-trailer biasa ($CD \frac{1}{4}$ 0,693). Dari hasil penelitian yang dilakukan juga didapatkan penghematan bahan bakar sebesar 13,4%.

Pada penelitian kali ini akan dilakukan penelitian untuk mengurangi koefisien tahanan pada tractor-trailer dengan menggunakan metode lain. Adapun metode yang digunakan adalah dengan menambahkan headroof spoiler pada bagian kepala truck trailer dengan menggunakan variasi bentuk yang dibedakan menjadi bentuk A, B, dan C. Dalam pembuatan model desain tractor trailer tersebut akan menggunakan Autodesk Inventor sedangkan aplikasi Computational Fluid Dynamics (CFD) Ansys Fluent digunakan untuk melakukan analisa aliran. Sehingga dengan adanya penambahan headroof spoiler diharapkan mampu memperkecil koefisien tahanan yang ada di tractor-trailer.

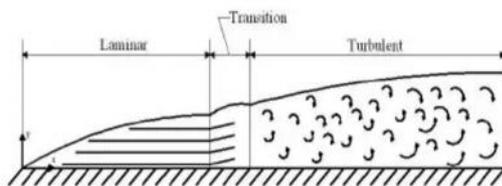
2. DASAR TEORI

2.1 Boundary Layer

Boundary layer (lapisan batas) adalah lapisan yang terbentuk disekitar benda akibat bertabrakan dengan fluida, beberapa factor seperti factor gesekan, dan efek-efek viskos merupakan penyebab hambatan sehingga menimbulkan suatu hambatan atau tahanan. Besar kecilnya hambatan dapat ditentukan oleh :

- Kekasaran permukaan benda
- Kecepatan udara yang mengalir
- Letak benda terhadap aliran udara

Secara garis besar lapisan batas (Boundary layer) terbagi menjadi 3 bagian yakni lapisan batas laminar, lapisan batas transisi, dan lapisan batas turbulen. Ketiga bagian lapisan tersebut pada gambar berikut ini.



Gambar 1. Lapisan Batas Laminar, Transisi dan Turbulen.

Pada lapisan batas turbulen, Gerakan molekul fluida yang acak menyebabkan terjadinya fluktuasi kecepatan (baik pada arah paralel maupun tegak lurus terhadap aliran). Sedangkan pada lapisan batas laminar, aliran fluida bergerak secara halus antara satu sama lainnya dengan lapisan batas laminar memiliki *streamline* yang saling paralel satu sama lainnya. Perpindahan massa dan momentum terjadi dalam jumlah yang sangat besar antar lapisan fluida yang disebabkan oleh fluktuasi kecepatan pada arah tegak lurus aliran menjadi penyebab tegangan geser

pada lapisan batas turbulen lebih besar dibandingkan pada lapisan batas laminar.

2.2 Bilangan Reynolds

Rasio antara gaya inersia terhadap gaya viskos yang mengkuantifikasikan hubungan kedua gaya tersebut dengan suatu kondisi aliran tertentu disebut dengan bilangan Reynolds. Untuk mengidentifikasi jenis aliran tersebut bersifat laminar, turbulen atau transisi maka digunakan bilangan Reynold. Rumus Bilangan Reynold sebagai berikut :

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} \quad (1)$$

Dimana :

- Re = Bilangan Reynolds
 ρ = Density Udara kg/m³
 V = Kecepatan Udara (m/det)
 μ = Viskositas dinamik (kg/m.s)

2.2 Coefficient of Drag

Drag yaitu hambatan dari aliran pada suatu benda. *Drag* ini merupakan hambatan dari gesekan suatu benda dan hambatan ini dapat terjadi juga pada dinding pipa tempat mengalirnya fluida. Energi harus diberikan untuk mengatasi *drag* serta untuk mempertahankan gerakan relatif antara benda dan aliran fluida serta untuk menghambat terjadinya deformasi pada suatu benda yang disebabkan *drag*.

Perbedaan tekanan antara bagian depan dan belakang bodi yang disebut *pressure drag* merupakan penyebab dari Koefisien *drag*, Persamaan *coefficient of drag* adalah : Lee, dkk (2004)[5]

$$Cp = \frac{P_0 - P_s}{\frac{1}{2} \rho v_{\infty}^2} \quad (2)$$

Dimana :

- P = Teraan permukaan (N/m²)
 P₀ = Tekanan statis lingkungan (N/m²)
 v_{∞} = Kecepatan aliran bebas (m/s)
 ρ = Densitas fluida (kg/m³)

Koefisien drag yang disebabkan oleh gesekan permukaan bodi dengan fluida disebut *friction drag*. Gaya seret yang terjadi pada suatu benda dalam aliran fluida merupakan fungsi :

$$FD = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot CD \cdot A \cdot V^2 \quad (3)$$

Dimana :

- FD = Gaya drag
 ρ = masa jenis fluida
 CD = Coefficient of drag
 A = luas area yang ditabrak fluida
 V = kecepatan aliran

2.3 Simulasi

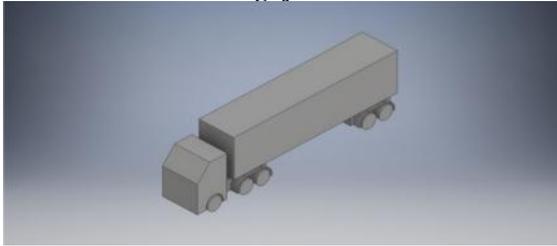
Proses peniruan dari sesuatu yang nyata beserta keadaan sekelilingnya (*state of affairs*) adalah pengertian dari Simulasi. Secara umum penggambaran sifat-sifat karakteristik dari hasil perlakuan sistem fisik merupakan aksi dari melakukan simulasi ini. Adapun yang dilakukan pada proses simulasi antara lain.

- Pembuatan benda uji yang sama dengan eksperimental
- Pembuatan meshing
- Penentuan boundary condition

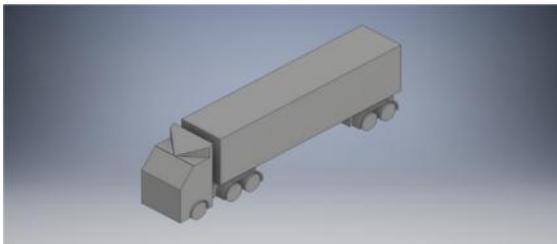
4. Menjalankan proses kerja simulasi
5. Proses dan Hasil simulasi

3. METODE PENELITIAN

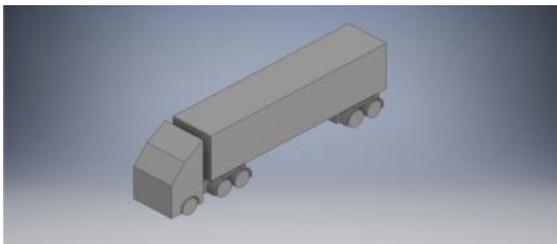
3.1 Desain Truk Pengujian



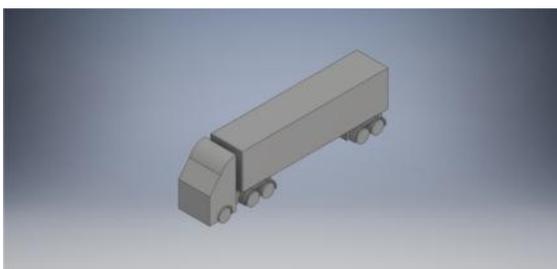
Gambar 2. Truk pengujian tanpa headroof spoiler



Gambar 3. truk pengujian dengan headroof spoiler A

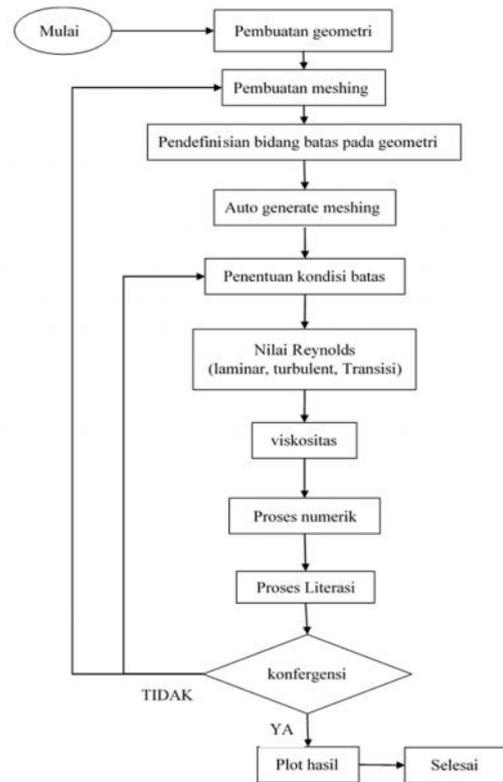


Gambar 4. Truk pengujian dengan headroof spoiler B



Gambar 5. Truk pengujian dengan headroof spoiler C

3.2 Prosedur Pengujian

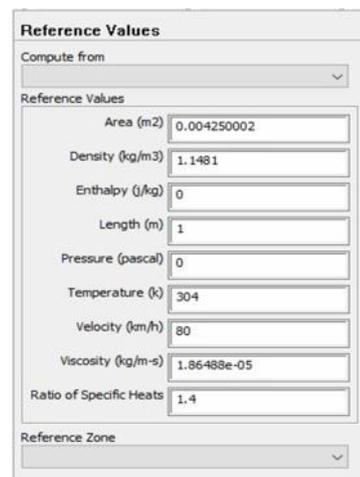


Gambar 6. Grafik langkah pengujian dengan aplikasi CFD

4. PEMBAHASAN

4.1 Hasil Simulasi

Data di dapatkan dengan cara plot pada report force setelah perhitungan pada Ansys16 selesai sehingga di dapatkan nilai Gaya Drag dan Coefficient of Drag. Perhitungan pada Ansys16 menggunakan viskositas udara k-Omega karena Reynolds number menunjukkan bahwa aliran bersifat turbulance, selain itu perhitungan pada k-Omega difokuskan mendekati wall benda uji dengan reference values sebagai berikut.

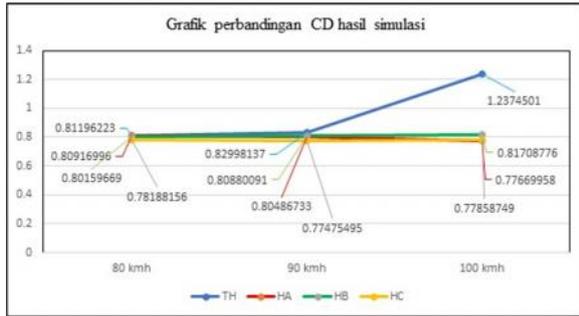


Gambar 7. Reference values penelitian

Tabel 1. Data Hasil Simulasi

No	jenis truk	DATA					
		80 km/jam		90 km/jam		100 km/jam	
		FD (N)	CD	F (N)	CD	F (N)	CD
1	tanpa headroof	0.97825119	0.81196223	1.265575	0.8299814	1.4908785	1.2374501
2	headroof A	0.97488568	0.80916996	1.2272788	0.8048673	1.4621334	0.7766996
3	headroof B	0.96576142	0.80159669	1.2332768	0.8088009	1.538164	0.8170878
4	headroof C	0.94351086	0.78188156	1.1832467	0.774755	1.4680247	0.7785875

a. Perbandingan *Coefficient of Drag* Hasil Simulasi

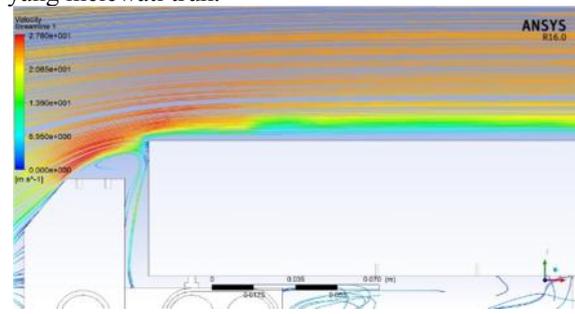


Gambar 8. Grafik perbandingan hasil simulasi

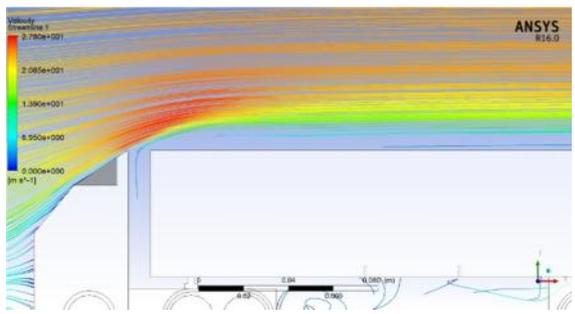
Dari grafik dapat dilihat bahwa penggunaan headroof spoiler baik tipe A, B, maupun C mampu mengurangi *Coefficient of Drag* dari truck trailer dengan headroof spoiler C yang mampu mengurangi *Coefficient of Drag* terbaik.

b. Visualisasi Aliran

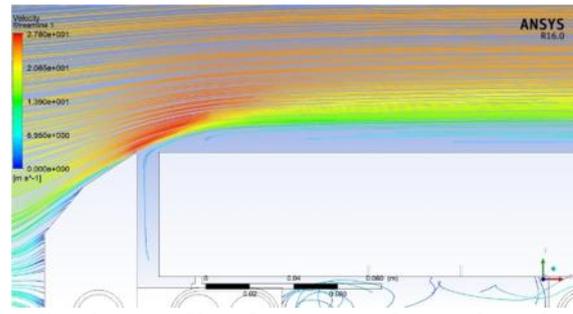
Agar dapat diketahui penyebab besarnya *coefficient of drag* dari truck-trailer maka dilakukan visualisasi aliran sehingga dapat di lihat aliran fluida yang melewati truk.



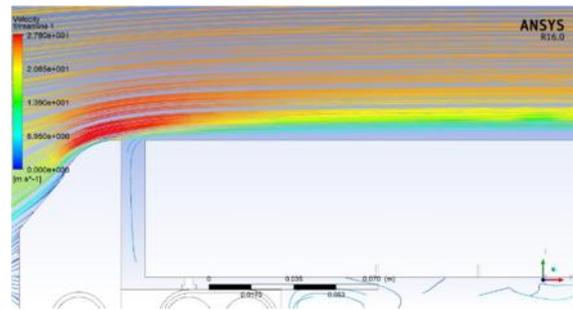
Gambar 9. Visualisasi streamline pada truk tanpa headroof spoiler



Gambar 10. Visualisasi streamline pada truk dengan headroof spoiler A



Gambar 11. Visualisasi streamline pada truk dengan headroof spoiler B



Gambar 12. Visualisasi streamline pada truk dengan headroof spoiler C

Pada gambar 8. aliran fluida yang datang langsung menabrak bagian box truk dan terjadi vortex aliran sehingga membuat *Coefficient of drag* dari truk menjadi tinggi sehingga perlu ditambahkan headroof spoiler pada kepala truk.

Pada gambar 9, 10, dan 11 dapat dilihat bahwa dengan dilakukannya penambahan headroof spoiler pada truk trailer membuat vortex pada bagian kepala truk menghilang dan aliran fluida diarahkan ke bagian atas box sehingga tidak menabrak box secara langsung, hal inilah yang membuat *coefficient of drag* dari truk berkurang.

Pada visualisasi aliran, penggunaan headroof spoiler pada truk trailer dapat dilihat jika penggunaan headroof spoiler menyebabkan aliran fluida yang mengalir diarahkan ke arah atas box truk, pada penggunaan headroof spoiler A dan B menyebabkan adanya blockage massa pada bagian atas box truk trailer sehingga membuat headroof A dan B tidak maksimal dalam menurunkan *coefficient of drag* dari truk trailer, berbeda dengan penggunaan headroof spoiler C yang membuat aliran udara mengalir lebih terarah dengan tidak menimbulkan blockage massa sehingga membuat headroof C mampu mengurangi *coefficient of drag* lebih baik.

5. KESIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan secara simulasi dengan menggunakan ansys fluent dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- Penggunaan headroof spoiler A, B, dan C terbukti mampu mengurangi nilai dari *coefficient of drag* dari truk trailer.
- Headroof spoiler C mampu mengurangi nilai *coefficient of drag* truck trailer terbaik dibandingkan headroof spoiler A dan B.

- c. Headroof spoiler A, B, dan C mampu menghilangkan vortex aliran yang terjadi pada bagian kepala truk trailer yang menyebabkan tingginya *coefficient of drag* pada truk trailer.
- d. Headroof spoiler C mampu mengarahkan aliran lebih baik dari headroof spoiler A dan B dengan tanpa menyebabkan adanya blockage massa pada bagian atas box truk trailer.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ray, 2019, *Mengenal Istilah Koefisien Drag pada Mobil*, www.cnnindonesia.com
- [2] Marzuqi, Noviandy, 2016, *Desain spoiler truk untuk pengurangan seretan udara (drag) berdasarkan uji terowongan angin dan uji jalan untuk penghematan bahan bakar minyak (BBM)*, Journal of Chemical Information and Modeling, Vol. 53 No.9, pp.1689–1699.
- [3] Kim J. J., 2017, *Substantial Drag Reduction Of A Tractor-Trailer Vehicle Using Gap Fairings*, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, pp. 93–100.
- [4] Kim J.J., 2019, *Considerable Dra Reduction And Fuel Saving Of A Tractor–Trailer Using Additive Aerodynamic Devices*, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 191, pp. 54–62.
- [5] Lee, S.-J., Park, C.-W., 2004, *Reducing the drag on a circular cylinder by upstream installation of small control rod*, Fluid Dyn. Res., Jpn. Soc. Fluid Mech, pp.233–250.



Nizam Firman Nur Habibie menyelesaikan studi di SMA Negeri 3 Lumajang pada tahun 2016, yang kemudian melanjutkan studi pada program sarjana di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana pada tahun 2016, dan kemudian menyelesaikannya pada tahun 2020.

Bidang penelitian diminati adalah Konversi Energi, mengenai Coefficient Of Drag.

Pengaruh Variasi Komposisi Pada Ceramic Matrix Composite Berpenguat Al_2O_3/Mg Terhadap Porositas, Kekerasan Dan Konduktivitas Termal

I Dewa Made Budi Dharma, I Ketut Suarsana dan I Gusti Ngurah Priambadi
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Perkembangan teknologi yang begitu pesat mengakibatkan pada pengembangan material komposit. Salah satu jenis komposit yaitu Ceramic Matrix Composite (CMC). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi pada komposit $Al_2(SO_4)_3$ berpenguat Al_2O_3/Mg menggunakan powder metallurgy yang terukur dari hasil pengujian meliputi uji porositas, uji kekerasan, uji konduktivitas termal dan mengamati morfologi menggunakan SEM (Scanning Electronic Microscope). Komposisi matriks yang digunakan adalah 80%, 70%, 60% $Al_2(SO_4)_3$. Hasil pengujian porositas tertinggi terdapat pada matriks $Al_2(SO_4)_3$ 80% berpenguat Al_2O_3 5% dan Mg 15% dikarenakan penguat Al_2O_3 menurun. Sementara uji kekerasan tertinggi terdapat pada matriks $Al_2(SO_4)_3$ 60% berpenguat Al_2O_3 30% dan Mg 10% karena penambahan Al_2O_3 sehingga tekstur spesimen semakin padat. Hasil Uji konduktivitas termal tertinggi terdapat pada matriks 60% $Al_2(SO_4)_3$ berpenguat Al_2O_3 30% dan Mg 10% dikarenakan terdapat porositas yang sangat kecil dan kekerasan yang sangat tinggi mengakibatkan laju aliran yang sangat baik. Pada pengamatan morfologis SEM, nilai porositas tertinggi terdapat pada matriks $Al_2(SO_4)_3$ 80% dengan penguat Al_2O_3 sebesar 15% dan Magnesium 5%. Morfologi ini dilakukan dengan pembesaran gambar sebesar 500x dengan tujuan untuk memperjelas rongga porositas yang terjadi.

Kata kunci: CMC, material, komposit, morfologi SEM

Abstract

The rapid development of technology resulted in the development of composite materials. One of the composite types is the Ceramic Matrix composite (CMC). The study aims to determine the influence of composition variations on composite $al_2(SO_4)_3$ reagent al_2O_3/Mg using the measured powder Metallurgy of the test results including porosity test, hardness test, thermal conductivity test and morphological monitoring using SEM (Scanning Electronic Microscope). The matrix composition used is 80%, 70%, 60% $Al_2(SO_4)_3$. The test results of the highest porosity found in the matrix $Al_2(SO_4)_3$ 80% of the reagent al_2O_3 5% and Mg 15% as the reagent Al_2O_3 decreases. While the highest hardness test is found on the matrix $Al_2(SO_4)_3$ 60% reagent Al_2O_3 30% and Mg 10% due to the addition of Al_2O_3 so that the specimen texture is increasingly dense. The highest thermal conductivity test results are found in the matrix 60% $Al_2(SO_4)_3$ of the reagent Al_2O_3 30% and Mg 10% as there is very small porosity and very high hardness resulting in a very good flow rate. On the morphological observation of SEM, the highest value of porosity found in matrix $Al_2(SO_4)_3$ 80% with the reagent Al_2O_3 by 15% and Magnesium 5%. This morphology was done with an enlarged image of 500x with the intention to clarify the cavity of porosity occurring.

Keywords: CMC, material, composite, morphology of SEM

1. Pendahuluan

Kemajuan teknologi dalam kehidupan manusia yang begitu pesat mengarah pada pengembangan material komposit. Komposit merupakan suatu jenis bahan baru hasil rekayasa yang terdiri dari dua atau lebih bahan dimana sifat masing-masing bahan berbeda satu sama lainnya [1]. CMC merupakan material 2 fasa dengan 1 fasa berfungsi sebagai penguat dan 1 fasa sebagai matrik yang terbuat dari keramik [2]. Penyusun CMC pada penelitian ini menggunakan aluminium sulfat sebagai matriks dan diperkuat dengan alumina beserta magnesium. Pengujian pada matriks komposit meliputi pengujian porositas, kekerasan, konduktivitas termal dan pengamatan SEM.

Pengujian porositas adalah suatu pengujian perbandingan antara jumlah volume ruang kosong

(rongga pori) pada saat pengaplikasian material [3], uji kekerasan didefinisikan sebagai ketahanan bahan terhadap penetrasi atau terhadap deformasi dari permukaan bahan [4], nilai konduktivitas termal suatu bahan menunjukkan laju perpindahan panas yang mengalir dalam suatu bahan [5]. Pengujian ini dilakukan dikarenakan pengaplikasian material komposit harus bisa menerima panas yang cukup baik dikarenakan pengaplikasian ini akan sering menerima suatu gesekan yang tak menentu. Scanning Electron Microscope (SEM) merupakan mikroskop elektron yang banyak digunakan untuk analisa permukaan material [6].

Agar penelitian ini memperoleh hasil yang maksimal dan lebih terarah maka perlu kiranya membatasi masalah, adapun batasan – batasan masalah dari penelitian ini yaitu:

1. Temperatur ruangan pada saat dilakukan proses pengujian menggunakan temperatur kamar.
2. Gaya tekan yang digunakan pada proses kompaksi spesimen sebesar 25 kN.
3. Pengujian yang dilakukan adalah uji porositas, kekerasan serta konduktivitas termal.

2. Dasar Teori

Ceramic Matrix Composite (CMC) merupakan bahan yang menggunakan keramik sebagai matriks dan diperkuat dengan serat pendek. Keuntungan dari CMC ini sendiri yaitu memiliki dimensi yang lebih stabil dari pada logam, mempunyai karakteristik daya tahan terhadap kimia yang tinggi dan tahan terhadap korosi [7]. Aluminium sulfat adalah senyawa dengan rumus molekul $Al_2(SO_4)_3$. Zat ini dapat dihasilkan dari reaksi antara asam sulfat dengan aluminium atau mineralnya [8].

Penambahan penguat alumina bertujuan untuk meningkatkan kekuatan, kekakuan dan ketahanan material komposit [9]. Aplikasi senyawa Magnesium digunakan sebagai bahan tahan api dalam lapisan dapur api untuk menghasilkan logam, kaca, dan semen. Metalurgi serbuk (*Powder Metallurgy*) merupakan suatu kegiatan yang mencakup pembuatan benda komersial, baik yang jadi atau masih setengah jadi (disebut *kompak mentah*). Proses pertama yang dilaksanakan pada metalurgi serbuk yaitu pembuatan serbuk, kemudian pencampuran serbuk (*mixing*). Selanjutnya proses *Compaction* bertujuan untuk mengkonsolidasikan serbuk ke dalam bentuk yang diinginkan dan memberi kekuatan yang memadai untuk penanganan atau pengerjaan berikutnya.

Terakhir proses finishing porositas pada fully sintered masih signifikan (4-15%). Untuk meningkatkan properties pada serbuk diperlukan resintering, dan *heat treatment*. Dalam penelitian ini dilakukan tiga proses pengujian yaitu sifat Porositas, sifat Kekerasan dan konduktivitas thermal. Pengamatan morfologi matriks menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*) yang merupakan salah satu jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron untuk menggambarkan bentuk permukaan dari material yang dianalisis. Elektron memiliki resolusi yang lebih tinggi dibandingkan cahaya. Cahaya hanya mampu mencapai tingkat resolusi 200 nm sedangkan elektron bisa mencapai resolusi hingga 0,1-0,2 nm.

3. Metode Penelitian

Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah metode eksperimen yaitu penelitian yang dilakukan merancang *ceramic matrix composite* dan melakukan analisa karakteristik menggunakan uji pendukung antara lain: Sifat Porositas, sifat Kekerasan, sifat konduktivitas termal serta *scanning electron microscope* (SEM).

Variabel-variabel yang diamati pada penelitian ini ada dua jenis variabel yaitu variabel terikat dan

variabel bebas. Variabel terikat merupakan variabel yang muncul dan besarnya dipengaruhi oleh variabel bebas yang ditentukan. Adapun variabel yang dicari pada penelitian ini adalah nilai porositas, nilai uji kekerasan dan nilai uji konduktivitas termal. Variabel Bebas adalah variabel yang ditentukan berdasarkan latar belakang yang telah dibuat oleh peneliti dan besarnya variabel tersebut ditentukan sebelum penelitian dilakukan.

Variabel bebas pada penelitian ini adalah:

1. Aluminium Sulfat ($Al_2(SO_4)_3$) 80% dengan penguat Al_2O_3 (15%, 10% dan 5%) dan Mg (5%, 10% dan 15%).
2. Aluminium Sulfat ($Al_2(SO_4)_3$) 70% dengan penguat Al_2O_3 (20%, 15% dan 10%) dan Mg (10%, 15% dan 20%).
3. Aluminium Sulfat ($Al_2(SO_4)_3$) 60% dengan penguat Al_2O_3 (30%, 20% dan 10%) dan Mg (10%, 20% dan 30%).

Porositas juga dapat di definisikan sebagai perbandingan antara jumlah massa ruang kosong (rongga pori) yang dimiliki oleh zat padat terhadap jumlah dari massa zat padat itu sendiri.

$$P = \frac{m_b - m_s}{m_b - (m_g - m_k)} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana:

P = Porositas bahan (%)

m_s = massa sampel setelah dikeringkan di dalam oven (g)

m_b = massa sampel setelah direndam didalam air/ jenuh (g)

m_g = massa sampel yang digantung di dalam air (g)

m_k = massa kawat penggantung sampel (g)

Pada pengujian kekerasan dibagi menjadi 3 titik agar mendapatkan data yang lebih akurat.

$$VHN = \frac{1,854 \times P}{d^2} \quad (2)$$

Dimana:

VHN = Vickers hardness number

P = Beban yang diberikan (kgf)

d^2 = Panjang diagonal rata – rata hasil indentasi

Nilai konduktivitas termal suatu bahan menunjukkan laju perpindahan panas yang mengalir dalam suatu bahan.

$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad (3)$$

Dimana:

q = Laju perpindahan panas (W)

k = Konduktivitas termal (W/m °C)

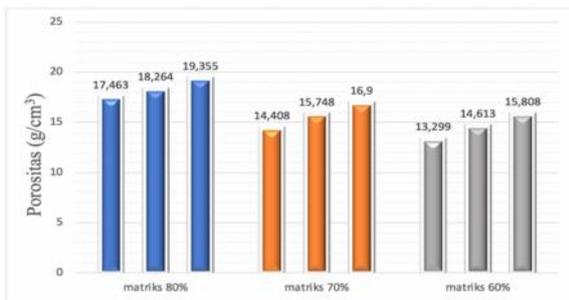
A = Luas penampang (m^2)

$\partial T/\partial x$ = Gradien suhu, yaitu laju perubahan suhu T dalam arah aliran x ($^{\circ}C/m$)

Pengamatan morfologi dilakukan pada permukaan spesimen dengan menggunakan SEM. Pancaran berkas elektron yang ditembakkan pada spesimen akan berinteraksi dengan atom - atom atau elektron dari spesimen dan menghasilkan objek gambar.

4. Data Hasil Pengujian Porositas

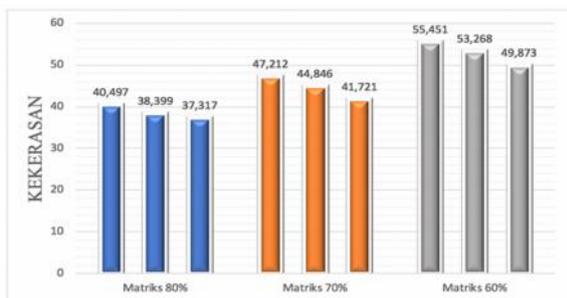
Data hasil pengujian porositas dengan Variasi persentase $AL_2(SO_4)_3$ berpenguat AL_2O_3/Mg . Nilai porositas paling tinggi terdapat pada matriks dengan variasi persentase matriks 80% dengan penguat AL_2O_3 5% dan Magnesium 15%. Terjadinya peningkatan nilai porositas dikarenakan penguat alumina (AL_2O_3) menurun.



Gambar 1. Grafik Uji Porositas

4.1. Data Hasil Pengujian Kekerasan

Variasi persentase $AL_2(SO_4)_3$ dapat mempengaruhi nilai kekerasan terlihat pada matriks yang memiliki nilai kekerasan paling tinggi terdapat pada matriks dengan variasi persentase matriks 60% dengan berpenguat AL_2O_3 30% dan magnesium 10%. Meningkatnya nilai kekerasan pada spesimen uji diakibatkan oleh penambahan campuran AL_2O_3 sehingga membuat tekstur spesimen semakin padat.

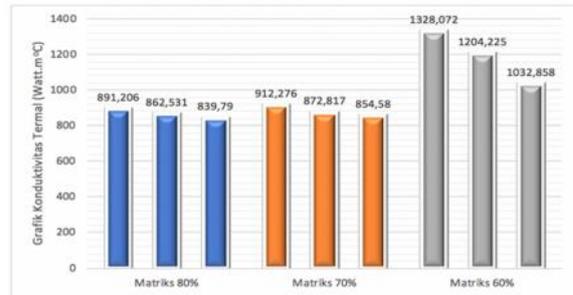


Gambar 2. Grafik Uji Kekerasan

4.2. Data Hasil Pengujian Konduktivitas Termal

Data hasil pengujian konduktivitas termal meliputi deskripsi material dan termokopel T1 - T7 dan jarak sensor pembaca dari tiap termokopel. Pengujian dilakukan pada masing - masing spesimen dengan variasi komposisi yang berbeda. Hasil pengujian konduktivitas termal nilai K tertinggi

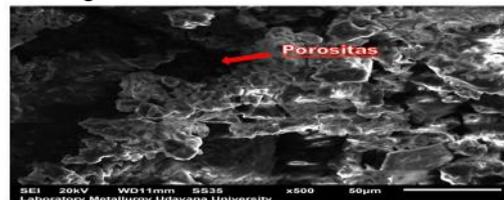
terjadi pada komposisi matriks 60% A, yaitu sebesar 1328,072 Watt/m.K. Hasil uji konduktivitas termal tertinggi terdapat pada komposisi matriks 60% A dikarenakan tingkat porositasnya terkecil dan tingkat kekerasannya tertinggi.



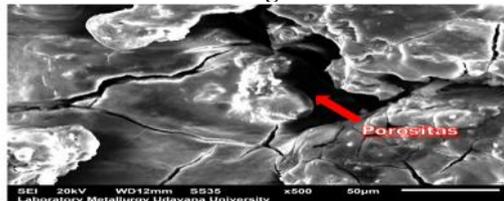
Gambar 3. Grafik Uji Konduktivitas Termal

4.3. Data Hasil Pengamatan SEM

Hasil dari pengamatan morfologi SEM terlihat bahwa spesimen matriks 80% sangat memiliki tingkat porositas yang luas dan pada spesimen matriks 60% memiliki tingkat porositas yang kecil. Penyebab terjadinya porositas dikarenakan tingkat persentase pada percampuran AL_2O_3 yang tidak sesuai dengan matriks.



Gambar 4. Hasil Pengamatan SEM 80%



Gambar 5. Hasil Pengamatan SEM 60%

5. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat ditarik berdasarkan seluruh tahapan penelitian yang telah dilakukan dari pengaruh variasi komposisi $AL_2(SO_4)_3$ berpenguat $AL_2O_3/Magnesium$ terhadap porositas, kekerasan dan konduktivitas termal adalah sebagai berikut:

1. Pengaruh variasi komposisi $AL_2(SO_4)_3$ berpenguat AL_2O_3/Mg melalui proses *powder metalurgy* yang didapatkan dari hasil pengujian data, hasil penelitian setiap komposisi matriks pada hasil pengujian porositas terlihat bahwa komposisi matriks $AL_2(SO_4)_3$ 80% berpenguat AL_2O_3 5% dan Magnesium 15% memiliki tingkat porositas yang tertinggi dan nilai terendah pada matriks komposisi $AL_2(SO_4)_3$ 60% berpenguat AL_2O_3 30% dan Magnesium 10%. Pada hasil uji kekerasan nilai tertinggi terdapat pada matriks

komposisi $Al_2(SO_4)_3$ 60% berpenguat Al_2O_3 30% dan Magnesium 10%, sedangkan nilai terendah pada matriks $Al_2(SO_4)_3$ 80% berpenguat Al_2O_3 5% dan Magnesium 15%. Nilai 2Konduktivitas Termal terendah terdapat pada matriks komposisi $Al_2(SO_4)_3$ 80% berpenguat Al_2O_3 5% dan Magnesium 15%, sedangkan nilai tertinggi terdapat pada matriks komposisi $Al_2(SO_4)_3$ 60% berpenguat Al_2O_3 30% dan Magnesium 10%.

2. Pengamatan morfologi dari CMC berpenguat Al_2O_3/Mg menggunakan SEM dimulai dari pembesaran 50x, 200x dan 500x. Pada pengamatan morfologis SEM, nilai porositas tertinggi terdapat pada matriks 80% dengan penguat Al_2O_3 sebesar 5% dan Magnesium 15%. Morfologi ini dilakukan dengan pembesaran gambar sebesar 500x dengan tujuan untuk memperjelas rongga porositas yang terjadi.

Daftar Pustaka

- [1] Ratna, S. *et al*, 2011, **Teknologi Material Komposit**, Jurnal Engineering – F, Universitas Pancasakti Tegal.
- [2] Porwonto, D. A, Johar, L, 2016, **Karakterisasi Komposit Berpenguat Serat Bambu Dan Serat Gelas Sebagai Alternatif Bahan Baku Industri**, Surabaya: Jurusan Teknik Fisika FTI ITS Surabaya.
- [3] Birkeland, P, 1984, **Soil and Geomorphology**, Oxford: University Press New York.
- [4] Prabowo, A. S, Triyono, T, Yaningsih, I, 2016, **Analisa Pengaruh Penambahan Mg Pada Komposit Matrik Aluminium Remelting Piston Berpenguat SiO_2 Menggunakan Metode Stir Casting Terhadap Kekerasan Dan Densitas**, Mekanika Universitas Sebelas Mare.
- [5] Suarsana, K, Astika, I. M. and Suprpto, L, 2018, **Karakterisasi Konduktivitas Termal dan Kekerasan Komposit Alumunium Matrik Penguat Hibrid $SiCw/AL_2O_3$** , Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran dan Ilmu Kesehatan.
- [6] Cahn, R. w, Haasen. P, Kramer. E. J, 1993, **Material Science And Technology**, A Comprehensive Treatment, Characterisation of Material Part 1. Eric Lifshin. V.H, New York.
- [7] Fransisca, 2008, **Feasibility of real-time detection of abnormality in inter layer dielectric slurry during chemical mechanical planarization using frictional analysis**, Thin Solid Films.
- [8] Nurcahyo, W., Sumantri, I. and Kurnisari, L, 2014, **Pembuatan Aluminium Sulfat Dari Clay**, Jurnal Momentum UNWAHAS.

- [9] Lee, Rainforth, 1994, **Ceramic Microstructures**, s.l.: Kluwer Academic Publisher, P280.



I Dewa Made Budi Dharma menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana pada Program Studi Teknik Mesin, pada tahun 2020.

Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan material dan komposit.

Pengaruh Variasi Waktu Dan Massa Hidrogen Donor Pada Proses *Partial Hydrogenation* Biodiesel Minyak Jelantah Terhadap Nilai Stabilitas Oksidasi

I.A.Wisnu, I.K.G. Wirawan, A. Ghurri

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit, Jimbaran Bali

Abstrak

Penelitian tentang Pengaruh Variasi Waktu dan Massa Hidrogen Donor Pada Proses *Partial hydrogenation* Biodiesel Minyak Jelantah Terhadap Nilai Stabilitas Oksidasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai stabilitas oksidasi biodiesel minyak jelantah yang melalui proses *partial hydrogenation*. Variabel yang divariasikan yaitu waktu proses *partial hydrogenation* yaitu 60, 90, dan 120 menit dan variasi massa hidrogen donor yaitu 60, 120 dan 180g. sedangkan variabel yang lainnya konstan mengikuti penelitian sebelumnya. Dimana massa katalis Al_2O_3 yang digunakan 5% massa biodiesel, temperatur 80°C, putaran 500 rpm, dan pelarut (aquades) 180g. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai stabilitas oksidasi tanpa proses *partial hydrogenation* yaitu 6 menit dan meningkat dengan proses *partial hydrogenation* hingga 82,8 menit. Penelitian ini menunjukkan bahwa nilai tertinggi diperoleh pada pencampuran massa hidrogen 180g dan waktu proses *partial hydrogenation* 90 menit. Hal ini membuktikan bahwa *partial hydrogenation* mampu meningkatkan nilai stabilitas biodiesel minyak jelantah.

Kata Kunci: Biodiesel, Stabilitas Oksidasi, Hidrogenasi Parsial

Abstract

Research on The Effect Variations Of Donor Hydrogen Mass And Hydrogenation Process Time Of *Partial hydrogenation* Used Cooking Oil Biodiesel On Oxidation Stability Values. This research aims to determine the value of the oxidation stability of waste cooking oil biodiesel through *partial hydrogenation* process. Variables that are varied are the *partial hydrogenation* process time which are 60, 90, and 120 minutes and the mass variations of the hydrogen donor are 60, 120 and 180g. while the other variables are constant by following others previous research before. Where the mass of Al_2O_3 catalyst used is 5% by mass of biodiesel, temperatur of 80°C, rotation of 500 rpm, and solvent (Distilled Water) 180g. The results of this research are indicating the value of oxidation stability without *partial hydrogenation* process is 6 minutes then the value of oxidation stability is increasing reach 82,8 minutes by using *partial hydrogenation* method. This research shows that the highest value obtained at 180g hydrogen mass mixing and 90 minutes *partial hydrogenation* process time. It proves that *partial hydrogenation* can increase the oxidation stability of waste cooking oil biodiesel.

Keywords: Biodiesel, Oxidation Stability, *Partial hydrogenation*

1. Pendahuluan

Bahan bakar terbarukan (renewable) yang ramah terhadap lingkungan karena biodegradabilitas, tidak beracun dan tidak mengandung belerang apabila digabungkan pada minyak solar dapat mengurangi sisa hasil pembakaran dari hasil pembakaran didalam merupakan definisi singkat dari biodiesel. Salah cara pengganti untuk memproduksi biodiesel menggunakan limbah yaitu menggunakan minyak jelantah. minyak jelantah sangat mudah ditemui, minyak jelantah ini merupakan limbah industri dan rumah tangga. Karsinogenik merupakan salah satu alasan mengapa minyak jelantah buruk bagi tubuh manusia jika tetap digunakan. Memanfaatkan minyak jelantah sebagai

pengganti bahan bakar, maka akan mengurangi masalah lingkungan dan kesehatan serta memberi kelebihan secara ekonomi jika diproduksi menjadi biodiesel dan pada parameter standar nasional Indonesia (SNI) yang sudah menetapkan syarat-syarat yang harus dipenuhi dalam pembuatan biodiesel sebelum digunakan secara langsung atau dicampur dengan bahan bakar solar Sudah sesuai. Biodiesel yang terbuat dari minyak jelantah mempunyai karakteristik; *Density, Viscosity Kinematic, Sulfur Content, Pour Point, Flash Point, Carbon Residu, Heating Value, Water Content, dan Acid Number* yang hampir sesuai dengan SNI.[1]

Adapun parameter lainnya yang berperan penting dalam kualitas biodiesel seperti

stabilitas oksidasi yaitu salah satu kriteria penting pada kualitas bahan bakar. Oksidasi biodiesel terjadi karena adanya udara. Hasil oksidasi dapat berupa asam yang akan mengkorosi komponen seperti saluran dan tangki bahan bakar. Oksidasi biodiesel juga menghasilkan padatan atau polimer yang akan menutupi nozzle dan filter bahan bakar.

Metode *Partial hydrogenation* adalah cara yang baik untuk meningkatkan stabilitas oksidasi dengan memutuskan ikatan rangkap pada biodiesel. Untuk mengurangi jumlah ikatan rangkap tak jenuh ganda (*poly-unsaturated ester*) misalnya metil linoleat C18:2 dan metil linolenat C18:3 dihidrogenasi menjadi ikatan rangkap tak jenuh tunggal (*mono-unsaturated ester*) metil oleat C18:1 dengan menggunakan gas hidrogen atau hidrogen donor dan katalis. beberapa parameter yang mempengaruhi proses *partial hydrogenation* adalah waktu, kecepatan pengadukan, jumlah katalis, tipe katalis, hidrogen, kualitas bahan baku[2].

Pembuatan Biodiesel minyak jelantah semakin didukung dengan adanya penelitian yang dilakukan sebelumnya yang mana menyebutkan bahwa pencampuran bahan bakar diesel dan biodiesel terhadap emisi gas buang menghasilkan pengurangan CO₂, CO, dan HC pada putaran rendah, sedangkan pada putaran tinggi menghasilkan CO berfluktuasi, CO₂ relatif konstan, HC berfluktuasi, dan menimbulkan opasitas asap [3].

Metode *partial hydrogenation* untuk meningkatkan stabilitas biodiesel semakin didukung dengan adanya penelitian yang sebelumnya yang menyatakan bahwa metode *partial hydrogenation* baik menggunakan gas hidrogen langsung atau hidrogen donor dan dengan bantuan katalis untuk membantu pada saat reaksi mampu meningkatkan stabilitas oksidasi dari biodiesel.

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk meningkatkan nilai stabilitas Oksidasi dari biodiesel minyak jelantah dengan metode *partial hydrogenation* pada variasi waktu dan massa hidrogen yang ditentukan. Untuk mendapatkan hasil dari luas permasalahan yang ada maka perlu dilakukan pembatasan antara lain:

1. Biodiesel yang digunakan adalah biodiesel dari minyak jelantah yang telah diproduksi sebelumnya oleh Yayasan Lengis Hijau
2. Temperatur yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 80°C (pada *magnetic stirrer*)
3. Data yang dicari hanya stabilitas oksidasi

4. Pelarut yang digunakan aquades (H₂O)
5. Katalis yang digunakan aluminium oksida (Al₂O₃)
6. Hidrogen donor yang digunakan isopropil alkohol 99% (C₃H₇-OH).
7. Metode yang digunakan adalah *Partial hydrogenation*.

2. Dasar Teori

2.1 Biodiesel

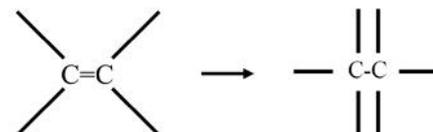
Bahan bakar pengganti yang serupa dengan solar. Berasal dari minyak nabati maupun hewani serta minyak jelantah yang sudah melalui proses tertentu. Transesterifikasi dan esterifikasi yaitu cara untuk merubah minyak jelantah menjadi biodiesel. interesterifikasi atau pertukaran ester yang didasarkan atas prinsip transesterifikasi friedel-craft merupakan cara untuk melakukan reaksi esterifikasi [4].

2.2 Stabilitas Oksidasi

Kemampuan bahan bakar agar tidak teroksidasi pada rentan waktu tertentu. Stabilitas merupakan salah satu sifat atau karakteristik yang penting dari biodiesel [5]. Susunan kimia pada biodiesel merupakan penyebab dari biodiesel menjadi lebih sensitif terhadap oksidasi dari pada bahan bakar fosil. Salah satu penyebab dari oksidasi yaitu rentan waktu dan tempat menyimpan biodiesel tersebut[6]. Stabilitas oksidasi dipengaruhi oleh jumlah ikatan tak jenuh yang terdapat dalam biodiesel (metil ester).

2.3 Partial hydrogenation

Cara yang baik untuk meningkatkan stabilitas oksidasi dengan memutuskan ikatan rangkap pada biodiesel dengan metode *partial hydrogenation*. *Partial hydrogenation* merupakan proses yang menggunakan gas hidrogen atau larutan lainnya yang mengandung hidrogen dengan bantuan katalis yang mana memiliki tujuan untuk memustus ikatan ganda pada rantai karbon biodiesel menjadi ikatan tunggal tak jenuh. Hidrogenasi ini menghasilkan berupa kestabilan oksidasi. Ilustrasi ikatan ganda tak jenuh menjadi ikatan tunggal tak jenuh, ditunjukkan pada gambar 1 [5].



Gambar 1. Ilustrasi Ikatan rangkap tak jenuh menjadi ikatan tunggal tak jenuh

2.4 Metode Rancimat

Metode ini dilakukan dengan cara memurnikan udara kemudian mengalirkan panas pada sampel dan temperatur

dipertahankan pada suhu tertentu. Labu yang teridir dari air demin dan elektroda sebagai penerima uap hasil proses oksidasi kemudian sebuah elektroda untuk mengukur konduktivitas listrik. dihubungkan dengan pengukur dan perekam, sehingga perangkat mampu menunjukkan akhir dari periode induksi ketika nilai konduktivitas listrik mulai meningkat pesat. Peningkatan konduktivitas disebabkan oleh adanya penyerapan asam karboksilat yang mudah menguap, dihasilkan oleh proses oksidasi, ke dalam air demin atau aquades [7].

3. Metode penelitian

3.1 Variabel

3.1.1 Variabel Bebas

- Waktu pengujian yang dilakukan pada pengujian ini yaitu; 60 menit, 90 menit, dan 120 menit
- Variasi massa hidrogen donor (Isopropil Alkohol) yang digunakan pada pengujian ini yaitu; 60g, 120g, & 180g

3.1.2 Variabel Terikat

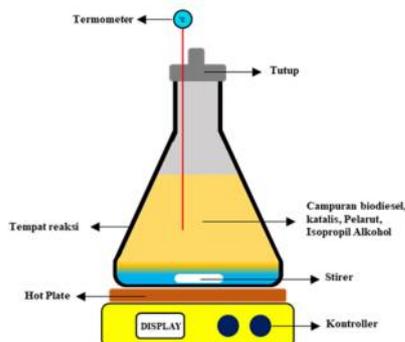
Stabilitas Oksidasi yang dihasilkan dari proses *partial hydrogenation* merupakan Variabel terikat pada penelitian kali ini

3.1.3 Variabel kontrol

- Biodiesel yang digunakan sebanyak 350 g
- Katalis yang digunakan sebanyak 5% w/w
- Temperatur yang digunakan sebesar 80°C
- Putaran pengadukan yang digunakan sebesar 500 rpm
- Pelarut yang digunakan sebanyak 180 g

3.2 Instalasi Penelitian

Penelitian ini memiliki skema rancangan penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 2. sebagai berikut:



Gambar 2. Instalasi Penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Data Hasil Penelitian

Pada penelitian ini data yang dicari merupakan nilai stabilitas oksidasi dari biodiesel minyak jelantah yang diproses dengan metode *partial hydrogenation*. Adapun nilai stabilitas oksidasi dari biodiesel minyak jelantah yang normal atau tidak dihidrogenasi yaitu 6 (menit). Adapun data nilai stabilitas oksidasi dari biodiesel minyak jelantah yang dihidrogenasi parsial seperti pada Tabel 2. Data hasil stabilitas oksidasi

Tabel 2. Data Hasil Penelitian

no	massa biodiesel (g)	putaran (rpm)	temperatur C	katalis % W/W	waktu penguian (menit)	Massa hidrogen donor (g)	Stabilitas oksidasi (menit)
1	350g	500 rpm	80°C	5 % W/W	60 menit	60g	36.6
2	350g	500 rpm	80°C	5 % W/W	60 menit	120g	42.6
3	350g	500 rpm	80°C	5 % W/W	60 menit	180g	42
4	350g	500 rpm	80°C	5 % W/W	90 menit	60g	81
5	350g	500 rpm	80°C	5 % W/W	90 menit	120g	58.8
6	350g	500 rpm	80°C	5 % W/W	90 menit	180g	82.8
7	350g	500 rpm	80°C	5 % W/W	120 menit	60g	23.4
8	350g	500 rpm	80°C	5 % W/W	120 menit	120g	36.6
9	350g	500 rpm	80°C	5 % W/W	120 menit	180g	44.4

4.2 Pembahasan Data

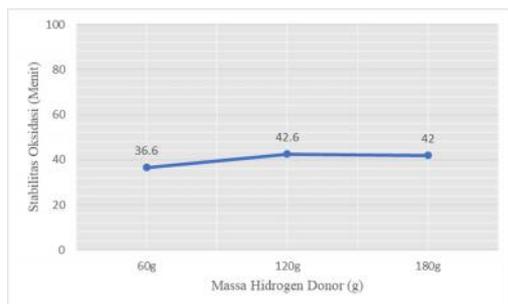
Data hasil stabilitas oksidasi dilihat pada Tabel 2. menunjukkan bahwa metode *partial hydrogenation* pada minyak jelantah mampu meningkatkan nilai stabilitas biodiesel, yang mana nilai stabilitas oksidasi biodiesel minyak jelantah tanpa proses hydrogenataion partial pada penelitian ini yaitu 6 (menit) dapat meningkat hingga 82,8 (menit) dengan diberikannya proses *partial hydrogenation*.

Data hasil stabilitas oksidasi pada penelitian ini yang ditunjukkan pada Tabel 2. menunjukkan bahwa nilai stabilitas oksidasi tertinggi yaitu 82,8 (menit) yang dihasilkan dari proses *partial hydrogenation* dengan kombinasi yaitu waktu proses *partial hydrogenation* 90 menit, massa hidrogen donor sejumlah 180g, katalis 5% w/w biodiesel, 350g biodiesel minyak jelantah, 180g pelarut (aquades), putaran 500 rpm dan temperatur 80°C dan data hasil stabilitas oksidasi terendah yang dihasilkan pada penelitian ini yaitu 23.4 (menit) yang

dihasilkan dari proses *partial hydrogenation* dengan kombinasi yaitu waktu proses *partial hydrogenation* 120 menit, massa hidrogen donor sejumlah 60g, katalis 5% w/w biodiesel, 350g biodiesel minyak jelantah, 180g pelarut (aquades), putaran 500 rpm dan temperatur 80°C.

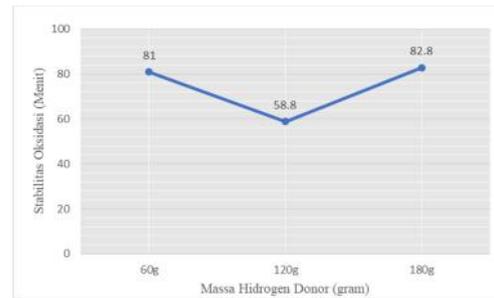
Data pada penelitian ini belum memenuhi standar mutu biodiesel yaitu 480 (menit) walaupun sudah dilakukannya proses *partial hydrogenation* namun dengan dilakukannya *partial hydrogenation* pada biodiesel minyak jelantah mampu meningkatkan nilai stabilitas oksidasi biodiesel minyak jelantah.

Adapun pengaruh dari variabel-variabel (waktu proses *partial hydrogenation* dan massa hidrogen donor) yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan dalam grafik yaitu pada gambar 3, gambar 4, gambar 5, gambar 6, gambar 7, gambar 8, gambar 9, dan gambar 10.



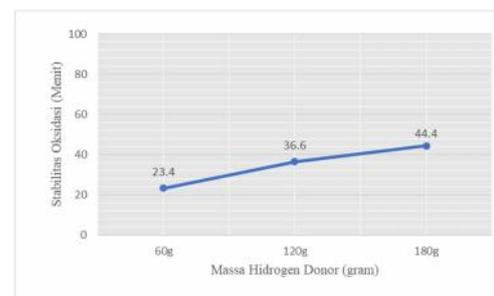
Gambar 3. Grafik Garis dari Pengaruh Massa Hidrogen Donor (g) Pada Waktu Proses *Partial hydrogenation* 60 Menit Terhadap Stabilitas Oksidasi (menit)

Pada variabel massa hidrogen donor 60g, 120g, dan 180g pada waktu proses *partial hydrogenation* 120 menit terhadap nilai stabilitas oksidasi adanya peningkatan nilai stabilitas oksidasi dari bahan bakar biodiesel minyak jelantah yang belum dihidrogenasi parsial yaitu 6 menit kemudian setelah dihidrogenasi mendapatkan nilai stabilitas oksidasi hingga 42,6 menit. adanya penurunan pada campuran 180g massa hidrogen donor disebabkan oleh struktur biodiesel dan banyak faktor lain yang menyebabkan penurunan nilai stabilitas oksidasi[8]. Semakin bertambahnya massa hidrogen donor semakin kecil pula nilai ikatan ganda yang ada. Yang mana semakin kecil nilai ikatan ganda semakin bagus nilai Stabilitas oksidasinya[2].



Gambar 4. Garis dari Pengaruh Massa Hidrogen Donor (g) Pada Waktu Proses *Partial hydrogenation* 90 Menit Terhadap Stabilitas Oksidasi (menit)

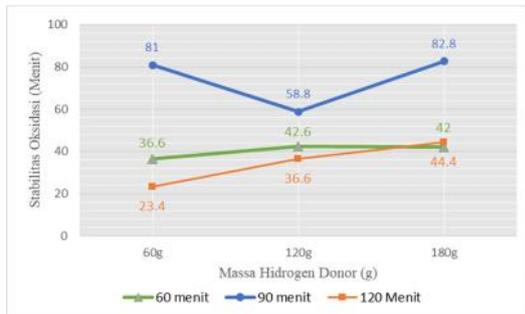
Pada variabel massa hidrogen donor 60g, 120g, dan 180g pada waktu proses *partial hydrogenation* 90 menit terhadap nilai stabilitas oksidasi adanya peningkatan nilai stabilitas oksidasi dari bahan bakar biodiesel minyak jelantah yang belum dihidrogenasi parsial yaitu 6 menit kemudian setelah dihidrogenasi mendapatkan nilai stabilitas oksidasi hingga 82,8 menit. adanya penurunan pada campuran 120g massa hidrogen donor disebabkan oleh struktur biodiesel dan banyak faktor lain yang menyebabkan penurunan nilai stabilitas oksidasi[8]. semakin bertambahnya massa hidrogen donor semakin kecil pula nilai ikatan ganda yang ada. Maka semakin kecil nilai ikatan ganda, semakin bagus nilai Stabilitas oksidasinya.[2]



Gambar 5. Grafik Garis dari Pengaruh Massa Hidrogen Donor (g) Pada Waktu Proses *Partial hydrogenation* 120 Menit Terhadap Stabilitas Oksidasi (menit)

Pada variabel massa hidrogen donor 60g, 120g, dan 180g pada waktu proses *partial hydrogenation* 120 menit terhadap nilai stabilitas oksidasi adanya peningkatan nilai stabilitas oksidasi dari bahan bakar biodiesel minyak jelantah yang belum dihidrogenasi parsial yaitu 6 menit kemudian setelah dihidrogenasi mendapatkan nilai hingga 44,4 menit. peningkatan nilai stabilitas oksidasi yang terjadi ini sudah sesuai dengan literatur, semakin bertambahnya massa hidrogen donor semakin kecil pula nilai ikatan ganda yang

ada. Maka semakin kecil nilai ikatan ganda, semakin baik nilai stabilitas oksidasinya[2].



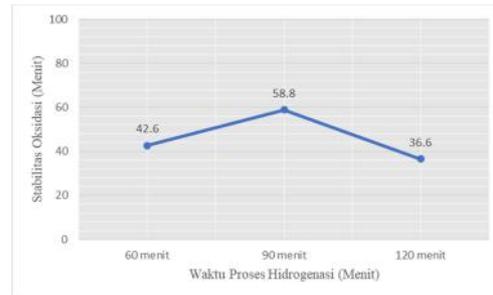
Gambar 6. Grafik Garis Pengaruh Massa Hidrogen Donor (g) dan Waktu Proses *partial hydrogenation* Terhadap Stabilitas Oksidasi (menit)

Pada variabel massa hidrogen donor 60g, 120g, dan 180g pada waktu proses *partial hydrogenation* 60,90, dan 120 (menit) terhadap nilai stabilitas oksidasi adanya peningkatan nilai stabilitas oksidasi dari bahan bakar biodiesel minyak jelantah yang belum dihidrogenasi parsial yaitu 6 menit kemudian setelah dihidrogenasi mendapatkan nilai stabilitas oksidasi hingga 82,8 menit



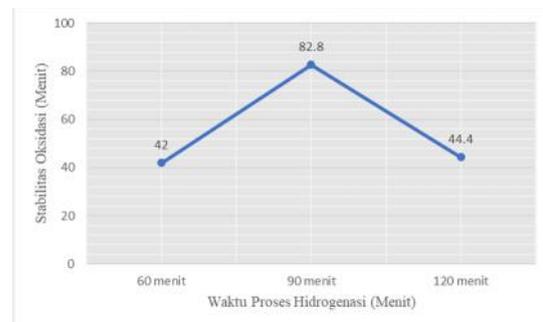
Gambar 7. Grafik Garis Pengaruh Waktu Proses *Partial hydrogenation* (menit) Pada 60g Massa Hidrogen Donor Terhadap Stabilitas Oksidasi (Menit)

Pada variabel waktu proses *partial hydrogenation* 60,90, dan 120 (menit) dengan massa hidrogen donor 60g terhadap nilai stabilitas oksidasi adanya peningkatan nilai stabilitas oksidasi dari bahan bakar biodiesel minyak jelantah yang belum dihidrogenasi parsial yaitu 6 menit kemudian setelah dihidrogenasi mendapatkan nilai stabilitas oksidasi hingga 81 menit. adanya penurunan pada waktu proses reaksi 60 dan 120 menit disebabkan oleh struktur biodiesel dan banyak faktor lain yang menyebabkan penurunan nilai stabilitas oksidasi.[8] semakin lamanya waktu proses reaksi semakin kecil pula nilai ikatan ganda yang ada. Maka semakin kecil nilai ikatan ganda, semakin bagus nilai Stabilitas oksidasinya.[2]



Gambar 8. Grafik Garis Pengaruh Waktu Proses *Partial hydrogenation* (menit) Pada 120g Massa Hidrogen Donor Terhadap Stabilitas Oksidasi (Menit)

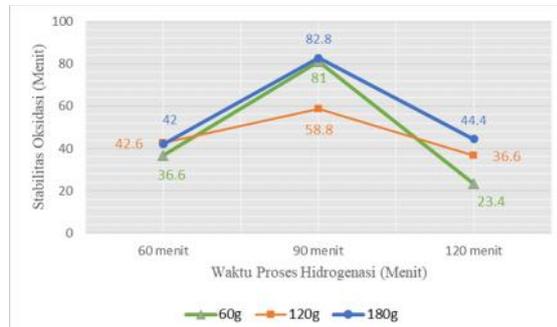
Pada variabel waktu proses *partial hydrogenation* 60,90, dan 120 (menit) dengan massa hidrogen donor 120g terhadap nilai stabilitas oksidasi adanya peningkatan nilai stabilitas oksidasi dari bahan bakar biodiesel minyak jelantah yang belum dihidrogenasi parsial yaitu 6 menit kemudian setelah dihidrogenasi mendapatkan nilai stabilitas oksidasi hingga 58,8 menit. adanya penurunan pada waktu proses reaksi 60 dan 120 menit disebabkan oleh struktur biodiesel dan banyak faktor lain yang menyebabkan penurunan nilai stabilitas oksidasi.[8] semakin lamanya waktu proses reaksi semakin kecil pula nilai ikatan ganda yang ada. Maka semakin kecil nilai ikatan ganda, semakin bagus nilai Stabilitas oksidasinya.[2]



Gambar 9. Grafik Garis Pengaruh Waktu Proses *Partial hydrogenation* (menit) Pada 180g Massa Hidrogen Donor Terhadap Stabilitas Oksidasi (Menit)

Pada variabel waktu proses *partial hydrogenation* 60,90, dan 120 (menit) dengan massa hidrogen donor 180g terhadap nilai stabilitas oksidasi adanya peningkatan nilai stabilitas oksidasi dari bahan bakar biodiesel minyak jelantah yang belum dihidrogenasi parsial yaitu 6 menit kemudian setelah dihidrogenasi mendapatkan nilai stabilitas oksidasi hingga 82,8 menit. adanya penurunan pada waktu proses reaksi 60 dan 120 menit disebabkan oleh struktur biodiesel dan banyak faktor lain yang menyebabkan

penurunan nilai stabilitas oksidasi.[8] semakin lamanya waktu proses reaksi semakin kecil pula nilai ikatan ganda yang ada. Maka semakin kecil nilai ikatan ganda, semakin bagus nilai Stabilitas oksidasinya.[2]



Gambar 10. Grafik Garis Pengaruh Waktu Proses *Partial hydrogenation* (menit) Pada 60g,120g, & 180g Massa Hidrogen Donor Terhadap Stabilitas Oksidasi (Menit)

Pada variabel waktu proses *partial hydrogenation* 60,90, dan 120 (menit) dengan massa hidrogen donor 60g, 120g, dan 180g terhadap nilai stabilitas oksidasi adanya peningkatan nilai stabilitas oksidasi dari bahan bakar biodiesel minyak jelantah yang belum dihidrogenasi parsial yaitu 6 menit kemudian setelah dihidrogenasi mendapatkan nilai stabilitas oksidasi hingga 82,8 menit.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai Pengaruh Variasi Waktu Dan Massa Hidrogen Donor Pada Proses *Partial hydrogenation* Biodiesel Minyak Jelantah Terhadap Nilai Stabilitas Oksidasi, dapat disimpulkan beberapa hal antara lain:

1. Variasi Waktu proses *partial hydrogenation* dalam penelitian ini menghasilkan nilai stabilitas oksidasi yang meningkat dan berfluktuasi yang mana waktu dalam proses *hydrogenation* *partial* berpengaruh dalam nilai stabilitas oksidasi.
2. Variasi Massa hidrogen donor dalam penelitian ini menghasilkan nilai stabilitas oksidasi yang meningkat dan berfluktuasi yang mana massa hidrogen donor dalam proses *hydrogenation* *partial* berpengaruh dalam nilai stabilitas oksidasi.
3. Penelitian ini nilai stabilitas oksidasi biodiesel tanpa campuran yaitu 6 menit dan nilai stabilitas oksidasi setelah dilakukannya proses *partial hydrogenation* menghasilkan nilai stabilitas hingga 82,8 menit. Membuktikan bahwa

4. *Partial Hydrogenation* mampu meningkatkan stabilitas oksidasi.
4. Nilai stabilitas oksidasi yang didapatkan belum memenuhi persyaratan yang telah ditentukan oleh SNI 2015 yaitu 480 menit sedangkan nilai stabilitas oksidasi yang paling tinggi didapatkan sebesar 82,2 menit walaupun telah dilakukan proses *partial hydrogenation*.

Daftar Pustaka

- [1] I. K. G. Wirawan, A. Guhri, K. Astawa, and W. N. Septiadi, 2019, *Characteristics of Biodiesel From Waste Cooking Oil*, *Int. J. Mech. Eng. Technol.*, vol. 10, no. 09, pp. 94–99.
- [2] G. Wei, Z. Liu, L. Zhang, and Z. Li, 2018, *Catalytic upgrading of Jatropha oil biodiesel by partial hydrogenation using Raney-Ni as catalyst under microwave heating*, *Energy Convers. Manag.*, vol. 163, pp. 208–218.
- [3] I. K. G. Wirawan, A. Ghurri, and W. N. Septiadi, 2019, *The effect of biodiesel-diesel fuel blending on exhaust gas emissions*, *Int. J. Mech. Eng. Technol.*, vol. 10, no. 2, pp. 542–550.
- [4] C. W. A. Dewi, 2016, *Analisis Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Jelantah*, *Jurnal Agroteknose.*, vol. 7, no. 2. pp. 38-44.
- [5] O. Sidjabat, 2013, *Peningkatan Sifat Alir dan Stabilitas Oksidasi Biodiesel dengan Proses Hidrogenasi Parsial . (Bagian II) : Penggunaan Pd-Al 2 O 3 Sebagai Katalis The Changing of Flow Property and Oxidation Stability of Biodiesel by Partial Hydrogenation Process . (Part II)*, *Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi*, vol. 47, no. 3, pp. 147 - 154.
- [6] C. S. Wibowo, R. Anggarani, K. Lama, and J. Selatan, 2016, *Pengaruh Kondisi Penyimpanan Terhadap Stabilitas Oksidasi Bahan Bakar Jenis Biodiesel (B-100), Biosolar (B-20) Dan Minyak Solar Murni (B-0) (Effect Of Storage Conditions On Oxidation Stability*, *Lembaran Publikasi Minyak Dan Gas Bumi*, vol. 50, no. 3, pp. 195–205.

- [7] SNI_7182:2015, 2015, *Standar Nasional Indonesia 7182:2015*, Badan Standardisasi Nasional Biodiesel, Jakarta, pp. 1-88.
- [8] R. D. O'Brien, 2004, *Fats and oils: formulating and processing for applications*, CRC PRESS, New York, pp. 1–574.

	<p>Ilham Ari Wisnu menyelesaikan sekolah menengah atas pada tahun 2016 di SMA Negeri 2 Denpasar Bali, kemudian ia melanjutkan ke Universitas Udayana mengambil jurusan Teknik mesin, dan menyelesaikan kuliahnya pada tahun 2020.</p>
<p>Bidang-bidang penelitian yang diminati yaitu topik-topik mengenai konversi energi dan bahan bakar, seperti biodiesel.</p>	

Pengaruh Variasi Temperatur dan Putaran Pada Proses *Partial Hydrogenation* Biodiesel Minyak Jelantah Terhadap Stabilitas Oksidasi

M. R. Ridho, I K. G. Wirawan, dan A. Ghurri
Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang dapat digunakan pada mesin diesel karena keduanya mempunyai sifat fisik dan kimia yang hampir sama. Selain itu biodiesel bersifat biodegradabilitas, tidak beracun, tidak mengandung belerang dan apabila dicampur dengan bahan bakar solar dapat mengurangi emisi gas buang dari hasil pembakaran. Biodiesel yang diproduksi memiliki persyaratan sebelum digunakan salah satu persyaratan tersebut adalah stabilitas oksidasi. Stabilitas oksidasi merupakan salah satu kriteria penting pada kualitas bahan bakar sebagai bahan bakar yang mengandung oksigen, stabilitas biodiesel lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar solar. Stabilitas oksidasi dipengaruhi oleh jumlah ikatan tak jenuh yang terdapat dalam struktur penyusun biodiesel. Ikatan tak jenuh terbagi lagi menjadi ikatan tak jenuh tunggal dan ikatan tak jenuh ganda. Biodiesel dengan kandungan ikatan tak jenuh ganda yang tinggi akan membuat stabilitas oksidasi rendah. Pada penelitian ini proses partial hydrogenation digunakan untuk memutuskan ikatan rangkap yang ada pada biodiesel sehingga mendapatkan nilai stabilitas oksidasi yang baik dengan memvariasikan temperatur 70°C, 80°C, dan 90°C dengan putaran 250 rpm, 500 rpm, dan 750 rpm. Partial hydrogenation dapat meningkatkan nilai stabilitas oksidasi pada biodiesel, dimana sebelum dilakukan proses partial hydrogenation nilai stabilitas oksidasi sebesar 6 menit sedangkan setelah dilakukan proses partial hydrogenation nilai stabilitas oksidasi mengalami peningkatan. Nilai stabilitas oksidasi yang paling optimal setelah dilakukan proses partial hydrogenation yaitu pada variasi temperatur 70°C dengan putaran 750 rpm nilai stabilitas oksidasi yang didapatkan sebesar 81 menit. Akan tetapi nilai stabilitas oksidasi yang didapatkan belum memenuhi persyaratan yang telah ditentukan oleh SNI 2015 yaitu sebesar 480 menit

Kata kunci: Biodiesel, Stabilitas Oksidasi, Partial Hydrogenation

Abstract

Biodiesel is an alternative fuel that can be used in diesel engines because both have almost the same physical and chemical properties. In addition, biodiesel is biodegradable, non-toxic, does not contain sulfur and when mixed with diesel fuel can reduce exhaust emissions from combustion. Biodiesel produced has requirements before used one of these requirements is oxidation stability. Oxidation stability is one of the important criteria for fuel quality as a fuel containing oxygen, biodiesel stability is lower compared to diesel fuel. Oxidation stability is influenced by the number of unsaturated bonds found in the structure of biodiesel. Unsaturated bonds are subdivided into monounsaturated esters and polyunsaturated esters. Biodiesel with high polyunsaturated ester content will make oxidation stability low. In this research partial hydrogenation process is used to obtain good oxidation stability results by varying the temperature 70°C, 80°C, and 90°C with rotation 250 rpm, 500 rpm, and 750 rpm. Partial hydrogenation can increase the value of oxidation stability in biodiesel, where before the partial hydrogenation process is carried out the oxidation stability value is 6 minutes whereas after the partial hydrogenation process is carried out the oxidation stability value increases. The most optimal oxidation stability value after the partial hydrogenation process is done at a temperature variation of 70°C with a rotation of 750 rpm oxidation stability value obtained is 81 minutes. However, the oxidation stability value obtained did not meet the requirements set by SNI 2015 that is 480 minutes.

Keywords: Biodiesel, Oxidation Stability, Partial Hydrogenation

1. Pendahuluan

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang dapat digunakan pada mesin diesel karena keduanya mempunyai sifat fisik dan kimia yang hampir sama. Selain itu biodiesel bersifat biodegradabilitas, tidak beracun, tidak mengandung belerang dan apabila dicampur dengan bahan bakar solar dapat mengurangi emisi gas buang dari hasil pembakaran.

Pencampuran bahan bakar diesel dan biodiesel minyak jelantah terhadap emisi gas buang menghasilkan pengurangan CO, CO₂, dan HC pada putaran rendah, sedangkan pada putaran tinggi menghasilkan nilai yang berfluktuasi serta menimbulkan opasitas asap [1].

Minyak jelantah dan minyak nabati *nonedible* merupakan salah satu upaya untuk memproduksi

biodiesel menggunakan bahan baku yang lebih murah dan tidak digunakan sebagai bahan makanan. Minyak jelantah memiliki harga yang lebih murah apabila dijadikan sebagai alternatif pengganti minyak nabati. Minyak jelantah banyak tersebar diberbagai tempat bahkan di seluruh dunia sebagai limbah yang berdampak negatif terhadap lingkungan. Selain itu, minyak jelantah telah mengalami perubahan baik secara fisika maupun kimia serta bersifat karsinogenik bagi tubuh manusia jika tetap digunakan. Dengan memanfaatkan minyak jelantah sebagai pengganti bahan bakar, maka akan mengurangi masalah lingkungan dan kesehatan serta memberi keuntungan ekonomis jika diproduksi menjadi biodiesel [2].

Biodiesel yang diproduksi memiliki persyaratan sebelum digunakan. Standar Nasional Indonesia (2015) telah menetapkan syarat-syarat yang harus dipenuhi dalam produksi biodiesel antara lain: massa jenis, viskositas kinematik, angka setana, titik nyala, titik kabut, residu karbon, kadar air, fosfor, belerang, angka asam, gliserol bebas, gliserol total, kadar ester metil, monogliserida, angka iodium dan stabilitas oksidasi [3].

Salah satu kriteria penting pada bahan bakar biodiesel adalah stabilitas oksidasi [4]. Stabilitas oksidasi merupakan ketahanan biodiesel untuk tidak mengalami degradasi oksidatif dikarenakan adanya udara dan dipercepat oleh panas, cahaya, dan logam. Hasil oksidasi dapat berupa asam yang akan mengkorosi komponen seperti saluran dan tangki bahan bakar. Oksidasi biodiesel juga menghasilkan padatan atau polimer yang akan memblok pada nozzle, filter dan tangki bahan bakar. Salah satu cara yang telah dikembangkan untuk mengatasi masalah ini adalah dengan melakukan *partial hydrogenation* pada biodiesel.

Melihat dari latar belakang yang telah dipaparkan, maka penulis mengambil judul penelitian tentang “Pengaruh Variasi Temperatur dan Putaran Pada Proses *Partial Hydrogenation* Biodiesel Minyak Jelantah Terhadap Stabilitas Oksidasi” dengan metode *catalytic transfer hydrogenation* (CTH). Hal ini dilakukan untuk mengetahui kondisi yang optimal dalam melakukan proses *hydrogenation partial* biodiesel dari minyak jelantah sehingga mendapatkan stabilitas oksidasi yang baik. Beberapa batasan masalah yang diambil dalam penelitian kali ini adalah :

1. Biodiesel yang digunakan adalah biodiesel dari minyak jelantah yang telah diproduksi sebelumnya oleh Yayasan Lengis Hijau.
2. Metode yang digunakan Catalytic Transfer Hydrogenation (CTH).
3. Temperatur yang diatur pada magnetic stirrer.
4. Katalis yang digunakan yaitu Aluminium Oksida (Al_2O_3).
5. Hidrogen donor yang digunakan isopropil alkohol 99% (C_3H_7-OH).

6. Data yang dicari hanya stabilitas oksidasi.

2. Dasar Teori

2.1 Biodiesel

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang dapat digunakan pada mesin diesel sebagai pengganti atau pencampur bahan bakar solar karena keduanya mempunyai sifat fisik dan kimia yang hampir sama. Pada dasarnya biodiesel dapat digunakan sebagai bahan bakar, namun viskositasnya cukup tinggi untuk digunakan dalam mesin diesel biasa. Biodiesel dihasilkan dari bahan alami yang terbarukan seperti minyak nabati dan hewani, beberapa bahan baku untuk pembuatan biodiesel antara lain kelapa sawit, kedelai, bunga matahari, jarak pagar, tebu dan beberapa jenis tumbuhan lainnya.

Kandungan asam lemak pada biodiesel terdiri dari asam lemak jenuh (*saturated fatty acid*) dan asam lemak tak jenuh (*unsaturated fatty acid*) dalam minyak nabati yang merupakan bahan baku dari biodiesel menyebabkan bahan bakar biodiesel sedikit kurang stabil dibandingkan dengan bahan bakar solar. Biodiesel memiliki sifat melarutkan. Hal ini menyebabkan suatu permasalahan, dimana apabila digunakan pada mesin diesel yang sebelumnya telah lama menggunakan solar dan didalam tankinya telah terbentuk kerak dan sedimen, maka biodiesel akan melarutkan kerak dan sedimen tersebut, sehingga dapat menyumbat saringan dan saluran bahan bakar. Oleh karenanya, dianjurkan untuk mengubah filter bahan bakar dalam 600-800 mil pertama saat beralih ke campuran biodiesel [5].

2.2 Stabilitas Oksidasi

Stabilitas oksidasi merupakan salah satu kriteria penting pada kualitas bahan bakar. Stabilitas oksidasi dipengaruhi oleh jumlah ikatan tak jenuh yang terdapat dalam biodiesel. Ikatan tak jenuh terbagi lagi menjadi ikatan tak jenuh tunggal (*monounsaturated ester*) dan ikatan tak jenuh ganda (*polyunsaturated ester*). Biodiesel dengan kandungan ikatan tak jenuh ganda (*polyunsaturated ester*) yang tinggi akan membuat stabilitas oksidasi rendah. Oksidasi pada biodiesel dapat menghasilkan senyawa hasil dekomposisi berupa asam, aldehid, ester, keton, peroksida, maupun alkohol, yang dapat mempengaruhi karakteristik biodiesel maupun aktivitas pembakaran dalam mesin. Degradasi oksidatif selama penyimpanan yang lama dapat terjadi karena adanya udara, panas, cahaya, dan zat prooksidan. Hasil oksidasi dapat berupa asam yang akan mengkorosi komponen seperti saluran dan tangki bahan bakar.

Hasil stabilitas oksidasi biodiesel menunjukkan bahwa berapa lama biodiesel akan tahan terhadap reaksi oksidasi. Semakin baik stabilitas oksidasi biodiesel, maka ketahanan biodiesel tersebut dari degradasi yang disebabkan reaksi oksidasi semakin

baik. Kestabilan oksidasi biodiesel tidak hanya menurut Standar Nasional Indonesia 2015, namun syarat kestabilan oksidasi biodiesel memiliki berbagai standar seperti pada tabel 1 [6].

Tabel 1. Syarat Kestabilan Oksidasi Biodiesel Menurut Berbagai Standar

Jenis Standar	Nilai Kestabilan Oksidasi (jam)
SNI 7182:2015	8
EN 14214	6
ASTM D-6751	3
WWFC 2009	10

Hasil stabilitas oksidasi biodiesel menunjukkan bahwa berapa lama biodiesel akan tahan terhadap reaksi oksidasi. Semakin baik stabilitas oksidasi biodiesel, maka ketahanan biodiesel tersebut dari degradasi yang disebabkan reaksi oksidasi semakin baik. Kestabilan oksidasi biodiesel tidak hanya menurut Standar Nasional Indonesia 2015, namun syarat kestabilan oksidasi biodiesel memiliki berbagai standar seperti pada tabel 1 [6].

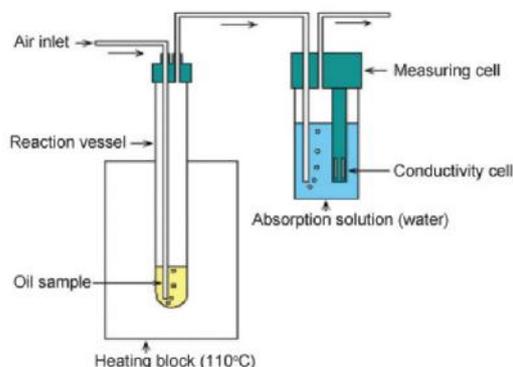
2.3 Partial Hydrogenation

Partial hydrogenation merupakan salah satu alternatif untuk meningkatkan kestabilan oksidasi dari biodiesel. *Partial hydrogenation* memiliki prinsip yang sederhana dan cenderung lebih ekonomis dibandingkan metode lain. Prinsipnya adalah memutus ikatan rangkap dari asam lemak tak jenuh sehingga dapat menurunkan resiko terjadinya reaksi oksidasi. *Partial hydrogenation* mengubah asam lemak tak jenuh menjadi asam lemak jenuh yang. Untuk mengurangi jumlah ikatan rangkap tak jenuh ganda (*polyunsaturated ester*) misalnya metil linoleat C 18:2 dan metil linolenat C 18:3 dihidrogenasi menjadi ikatan rangkap tak jenuh tunggal (*monounsaturated ester*) metil oleat C 18:1 [7]. Selama reaksi *partial hydrogenation* berlangsung, beberapa molekul asam lemak tak jenuh yang berkonfigurasi cis mengalami penyusunan ulang menjadi trans yang bentuknya lebih linear dan lebih stabil secara termodinamika. Bahan baku yang mengandung komponen asam lemak jenuh tinggi mempunyai stabilitas oksidasi yang lebih baik [8]. Tetapi, apabila kandungan asam lemak jenuhnya tinggi dalam bahan baku akan memberikan sifat alir yang lebih rendah terutama pada suhu rendah. Adapun variabel yang mempengaruhi proses *partial hydrogenation* adalah temperatur, waktu, kecepatan pengadukan, jumlah katalis, tipe katalis, hidrogen, kualitas bahan baku [9].

2.4 Metode Rancimat

Metode Rancimat merupakan alat yang dibuat untuk penentuan stabilitas oksidasi pada minyak atau lemak. Pengukuran stabilitas oksidasi minyak dan lemak dapat dilakukan dengan efektif dan efisien. Cara Pengukuran Stabilitas Oksidasi yaitu, selama

pengukuran berlangsung aliran udara dikontakan sebesar 1 - 25 L/h pada sampel minyak atau lemak yang ditempatkan pada bejana tertutup, blok pemanas dikondisikan pada temperatur 50 – 220 °C dan, perubahan konduktivitas diatur pada 1 – 400 μS/cm untuk mengukur hasil waktu induksi nantinya. Cara pengujian metode rancimat dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Cara Pengujian Metode Rancimat

Reaksi oksidasi minyak dan lemak membentuk peroksida sebagai produk utama oksidasi. Sedangkan produk sampingnya terbentuk setelah seluruh asam lemak terdegradasi termasuk asam organik molekul pendek. Senyawa ini dialirkan melalui udara menuju ke bejana yang terisi oleh air distilasi, selanjutnya perubahan konduktivitas akan diukur secara kontinyu. Kandungan asam organik akan terdeteksi melalui kenaikan konduktivitas.

3. Metode Penelitian

3.1 Variabel

Variabel-variabel yang ditentukan pada penelitian ini adalah variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol.

3.1.1 Variabel bebas

- a. Temperatur yang digunakan pada penelitian ini yaitu: 70°C, 80°C, dan 90°C yang diatur pada *magnetic stirrer*.
- b. Putaran pengadukan yang digunakan pada penelitian ini yaitu : 250 rpm, 500 rpm, dan 750 rpm yang diatur pada *magnetic stirrer*.

3.1.2 Variabel terikat

Variabel terikat pada penelitian kali ini adalah Stabilitas Oksidasi yang dihasilkan dari proses *partial hydrogenation*.

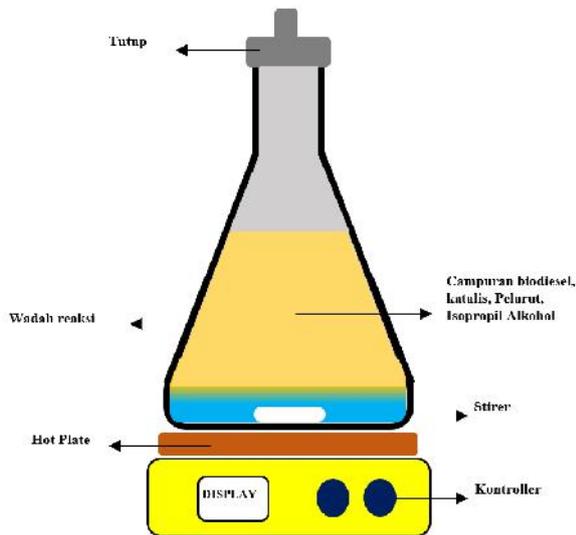
3.1.3 Variabel kontrol

- a. Biodiesel yang digunakan sebanyak 350 g.
- b. Katalis yang digunakan sebanyak 5% w/w.
- c. Hidrogen donor yang digunakan sebanyak 120 g.
- d. Pelarut yang digunakan sebanyak 180 g.

e. waktu yang digunakan pada penelitian ini selama 60 menit.

3.2 Instalasi Penelitian

Instalasi penelitian dapat dilihat pada gambar 2. untuk melakukan proses *partial hydrogenation* biodiesel dengan metode *catalytic transfer hydrogenation* (CTH).



Gambar 2. Instalasi Penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Penelitian

Pada penelitian ini data stabilitas oksidasi biodiesel sebelum dilakukan proses *partial hydrogenation* yang didapatkan yaitu 6 (menit) sedangkan data stabilitas oksidasi biodiesel setelah dilakukan proses *partial hydrogenation* ditampilkan pada tabel 2 sesuai dengan variasi temperatur dan putaran yang telah ditentukan.

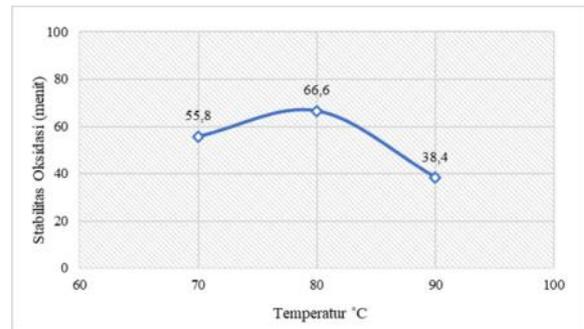
Tabel 2. Data Stabilitas Oksidasi

No.	Temperatur (°C)	Putaran (rpm)	Stabilitas Oksidasi (menit)
1	70	250	55,8
2	70	500	66,6
3	70	750	81
4	80	250	66,6
5	80	500	31,8
6	80	750	48,6
7	90	250	38,4
8	90	500	36
9	90	750	36,6

4.2 Pembahasan Data

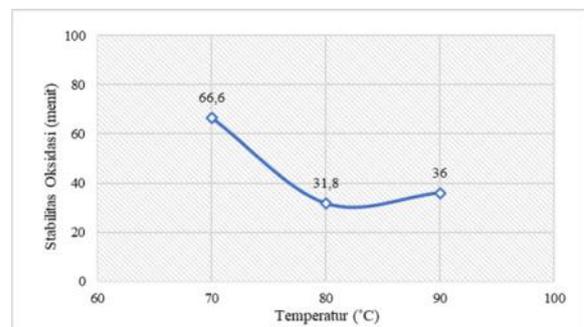
Data pada penelitian ini mendapatkan hasil stabilitas oksidasi tertinggi pada variasi temperatur

70°C dengan putaran 750 rpm sedangkan data yang paling terendah didapatkan pada variasi 80°C dengan putaran 500 rpm. Pada penelitian ini biodiesel yang digunakan mendapatkan hasil stabilitas oksidasi yang belum memenuhi standar SNI 2015 sebesar 480 menit walaupun sudah dilakukan proses *partial hydrogenation*. Adapun grafik pengaruh temperatur pada putaran 250, 500, dan 750 rpm nilai stabilitas oksidasi yang didapatkan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3, 4, dan 5.



Gambar 3. Grafik pengaruh temperatur pada putaran 250 rpm terhadap stabilitas oksidasi

Pada putaran 250 rpm dengan temperatur 70, 80, dan 90°C hasil stabilitas oksidasi mengalami fluktuasi pada temperatur 70°C hasil stabilitas oksidasi 55,8 menit, pada variasi temperatur 80°C hasil stabilitas oksidasi 66,6 menit dan variasi temperatur 90°C mendapatkan hasil stabilitas oksidasi 38,4 menit.

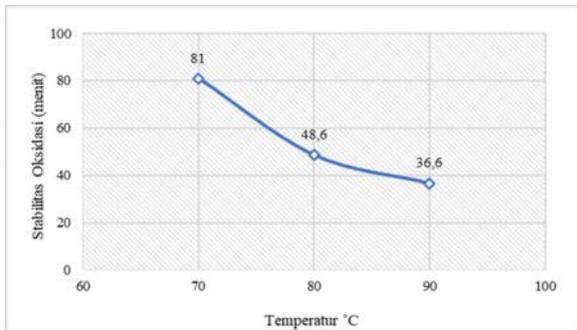


Gambar 4. Grafik pengaruh temperatur pada putaran 500 rpm terhadap stabilitas oksidasi

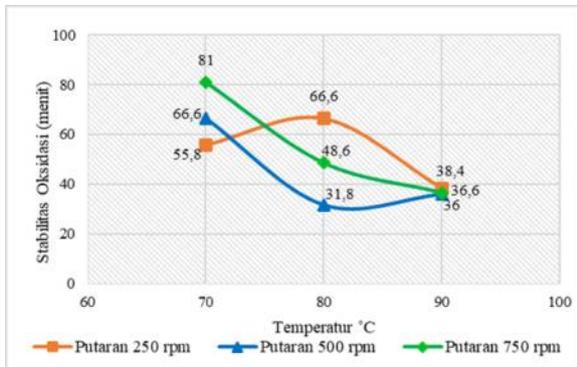
Pada putaran 500 rpm dengan temperatur 70, 80, dan 90°C hasil stabilitas oksidasi mengalami fluktuasi pada temperatur 70°C hasil stabilitas oksidasi 66,6 menit, pada variasi temperatur 80 °C hasil stabilitas oksidasi 31,8 menit dan variasi temperatur 90°C mendapatkan hasil stabilitas oksidasi 36 menit.

Pada putaran 500 rpm dengan temperatur 70, 80, dan 90 °C hasil stabilitas oksidasi mengalami fluktuasi pada temperatur 70°C hasil stabilitas oksidasi 66,6 menit, pada variasi temperatur 80°C hasil stabilitas oksidasi 31,8 menit dan variasi temperatur 90°C mendapatkan hasil stabilitas

oksidasi 36 menit. Pada gambar 6 merupakan gabungan grafik pengaruh temperatur pada putaran 250, 500, dan 750 rpm terhadap stabilitas oksidasi.

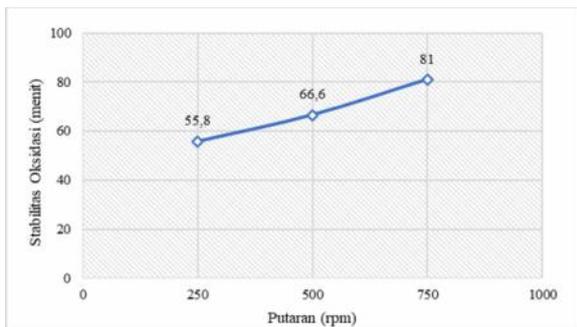


Gambar 5. Grafik pengaruh temperatur pada putaran 750 rpm terhadap stabilitas oksidasi



Gambar 6. Gabungan grafik pengaruh temperatur pada putaran 250, 500, dan 750 rpm terhadap stabilitas oksidasi

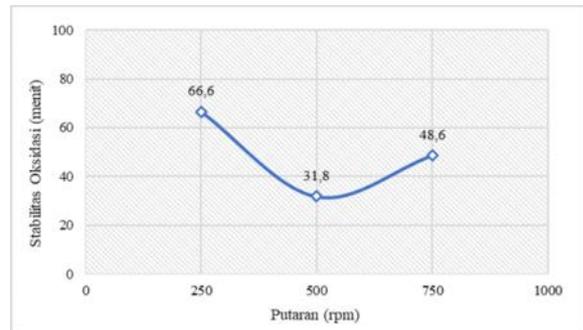
Sedangkan grafik pengaruh putaran terhadap nilai stabilitas oksidasi yang didapatkan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 7, 8, dan 9 berikut.



Gambar 7. Grafik pengaruh putaran pada temperatur 70 °C terhadap stabilitas oksidasi

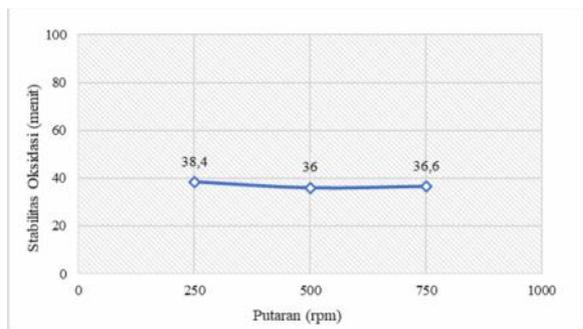
Pada temperatur 70°C dengan putaran 250, 500, dan 750 rpm hasil stabilitas oksidasi mengalami peningkatan, pada putaran 250 rpm hasil stabilitas oksidasi 55,8 menit, pada variasi putaran 500 rpm hasil stabilitas oksidasi 66,6 menit dan variasi

putaran 750 rpm mendapatkan hasil stabilitas oksidasi 81 menit.



Gambar 8. Grafik pengaruh putaran pada temperatur 80 °C terhadap stabilitas oksidasi

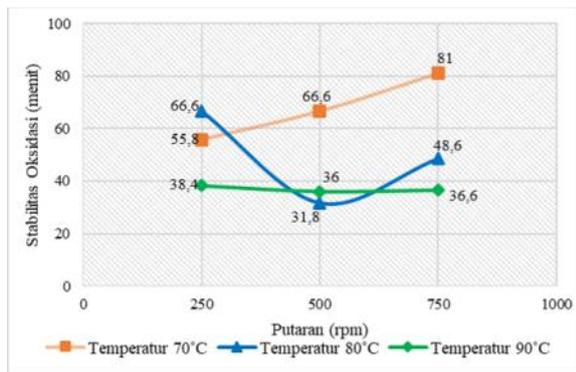
Pada temperatur 80°C dengan putaran 250, 500, dan 750 rpm hasil stabilitas oksidasi berfluktuasi, pada putaran 250 rpm hasil stabilitas oksidasi 66,6 menit, pada variasi putaran 500 rpm hasil stabilitas oksidasi 37,8 menit dan variasi putaran 750 rpm mendapatkan hasil stabilitas oksidasi 48,6 menit.



Gambar 9. Grafik pengaruh putaran pada temperatur 90 °C terhadap stabilitas oksidasi

Pada temperatur 90°C dengan putaran 250, 500, dan 750 rpm hasil stabilitas oksidasi berfluktuasi, pada putaran 250 rpm hasil stabilitas oksidasi 38,4 menit, pada variasi putaran 500 rpm hasil stabilitas oksidasi 36 menit dan variasi putaran 750 rpm mendapatkan hasil stabilitas oksidasi 36,6 menit. Pada gambar 4.8 merupakan gabungan grafik pengaruh putaran pada temperatur 70, 80, dan 90°C terhadap stabilitas oksidasi yang didapatkan.

Apabila dilihat pada kedua grafik baik dari segi temperatur maupun putaran hasil stabilitas oksidasi banyak mengalami fluktuasi, hal ini dikarenakan setelah dilakukan proses *partial hydrogenation* ikatan asam lemak tak jenuh rangkap ganda dari C 18:2 dan C 18:3 menjadi C 18:1, dimana komposisi asam lemak C 18:1 terbagi menjadi cisC 18:1 dan transC 18:1 semakin banyak komposisi asam lemak yang berubah menjadi trans stabilitas oksidasi dari biodiesel semakin baik hal ini dikarenakan asam lemak trans memiliki konfigurasi yang lebih lurus daripada asam lemak cis.



Gambar 10. Gabungan grafik pengaruh putaran pada temperatur 70, 80, dan 90°C terhadap stabilitas oksidasi

Pada penelitian ini semakin tinggi temperatur pada proses *partial hydrogenation* nilai stabilitas oksidasi yang didapatkan cenderung menurun hal ini dikarenakan telah melewati temperatur titik didih isopropil alkohol 82,5°C sehingga stabilitas oksidasi yang didapatkan kurang optimal. Selain itu putaran juga berpengaruh pada proses *partial hydrogenation* hal ini dikarenakan tingkat ketidakjenuhan biodiesel menurun seiring dengan kecepatan putaran [8].

5. Simpulan

Pada penelitian ada beberapa kesimpulan yang didapat antara lain:

1. Pengaruh temperatur pada putaran 250, 500, dan 750 rpm terhadap stabilitas oksidasi pada proses *partial hydrogenation* dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur dan putaran nilai stabilitas oksidasi yang didapatkan cenderung semakin menurun.
2. Pengaruh putaran pada temperatur 70, 80, dan 90°C terhadap stabilitas oksidasi pada proses *partial hydrogenation* dapat disimpulkan bahwa pada temperatur 70°C semakin tinggi putaran nilai stabilitas oksidasi yang didapatkan semakin baik, sedangkan pada temperatur 80°C dan 90°C semakin tinggi putaran nilai stabilitas oksidasi cenderung menurun.
3. *Partial hydrogenation* dapat meningkatkan nilai stabilitas oksidasi pada biodiesel dimana sebelum dilakukan proses *partial hydrogenation* nilai stabilitas oksidasi sebesar 6 menit sedangkan setelah dilakukan proses *partial hydrogenation* nilai stabilitas oksidasi mengalami peningkatan
4. Nilai stabilitas oksidasi yang didapatkan belum memenuhi persyaratan yang telah ditentukan oleh SNI 2015 yaitu sebesar 480 menit sedangkan nilai stabilitas oksidasi yang paling tinggi didapatkan sebesar 81 menit walaupun telah dilakukan proses *partial hydrogenation*.

Daftar Pustaka

- [1] I. K. G. Wirawan, A. Ghurri, and W. N. Septiadi, 2019, *The effect of biodiesel-diesel fuel blending on exhaust gas emissions*, *Int. J. Mech. Eng. Technol.*, vol. 10, no. 2, pp. 542–550.
- [2] A. Wibowo, A. O. Viani, and H. Rustamaji, 2017, *Transesterifikasi Minyak Jelantah Menggunakan Continous Microwave Biodiesel Reactor*, pp. 19–25.
- [3] Badan Standarisasi Nasional, 2015, *Standar Nasional Indonesia 7182:2015*, Jakarta.
- [4] R. Fajar, S. Yubaidah, and M. Ma, 2009, *Strategi Formulasi Biodiesel Jatropha Untuk Memenuhi Spesifikasi WWFC 2009: Teknik Blending Dengan Biodiesel Sawit Dan Rekayasa Kimia (Partial Hydrogenation)*, pp. 1–5.
- [5] Mahfud, 2018, *Biodiesel: Perkembangan Bahan Baku Dan Teknologi*, Surabaya.
- [6] M. I. Joelianingsih, Alghifari and F. M. Antika, 2016, *Sintesis biodiesel dari minyak kemiri sunan dengan katalis homogen melalui reaksi esterifikasi dan transesterifikasi secara bertahap*, vol. 23, pp. 1–11.
- [7] E. Sukjit *et al.*, 2019, *Improvement of the tribological behaviour of palm biodiesel via partial hydrogenation of unsaturated fatty acid methyl esters*, vol. 426–427, pp. 813–818.
- [8] G. Wei, Z. Liu, L. Zhang, and Z. Li, 2018, *Catalytic upgrading of Jatropha oil biodiesel by partial hydrogenation using Raney-Ni as catalyst under microwave heating*, *Energy Convers. Manag.*, vol. 163, pp. 208–218.
- [9] R. D. O'Brien, 2009, *Fats and Oils*, Third Edition, United States of America.



Efek Perlakuan *Silane* Pada Komposit Berpenguat Serat Jelatang Terhadap Kekuatan *Impact*

Linggih Sulenggar Putra, I Gede Putu Agus Suryawan, I Ketut Suarsana
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Komposit ialah material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material, dimana sifat mekanik yang dimiliki material pembentuknya tersebut berbeda-beda. Kualitas ikatan serat-matrix merupakan hal yang berpengaruh terhadap sifat mekanis material komposit. Meningkatkan ikatan serat-matrix dapat dilakukan dengan cara melakukan perlakuan larutan kimia pada serat. Perlakuan kimia dengan menambahkan silane coupling agent pada serat. Perbedaan konsentrasi silane pada setiap jenis serat alam akan berpengaruh terhadap sifat mekanis dari komposit. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dampak dari silane coupling agent pada sifat mekanik komposit serat jelatang. Variasi larutan silane yang dilakukan ialah 3%, 6%, 9% dan dengan variasi fraksi berat 10%, 15%, 20%. Pembuatan komposit dilakukan dengan metode hand lay-up, pada suhu ruangan dan dengan waktu penahanan 12 jam dan ditekan dengan diberi pemberat. Prosedur pembuatan komposit mengacu pada standart ASTM D256-04. Kristalografi dilihat mempergunakan SEM. Didapatkan hasil bahwa kekuatan impact mengalami peningkatan kekuatan pada larutan 6% dari konsentrasi larutan 3% dan mengalami penurunan kekuatan pada konsentrasi 9%. Kekuatan impact tertinggi pada komposit dengan perlakuan konsentrasi larutan silane 6% dengan fraksi berat 20% dengan nilai kekuatan 0.01188 Nm/mm^2 .

Kata kunci: Komposit, epoxy, serat jelatang, silane, kekuatan impact

Abstract

Composite is a material that is formed by two or more materials, while the mechanical properties of the forming material are different from individual components. The quality of the fiber-matrix bond is the factor that influences the mechanical properties of materials. Improving the quality of the bonding can be done by treating chemical solutions on the fiber. Chemical treatment by adding silane coupling agent to the fiber. The difference in concentration of each type of natural fiber will affect the of the composite. The objective of this research was to study the effect of silane coupling agent concentration on the mechanical properties of nettle fiber composites. The variation of silane concentration used is 3%, 6%, 9% and with variations in weight fraction of 10%, 15%, 20%. Composite is manufacturing by hand lay-up method, at room temperature and with a holding time of 12 hours and pressed with ballast. Procedure for making impact test specimens at ASTM D 256-04. Crystallography of specimen is observed by SEM. The test results show that the impact strength has increased strength in the 6% solution from 3% solution concentration and has decreased strength at 9% concentration. The highest impact strength on composites with the treatment of 6% silane solution concentration with a weight fraction of 20% with a strength value of 0.01188 Nm/mm^2 .

Keywords: Composite, epoxy, nettle fiber, silane, impact strength

1. Pendahuluan

Perkembangan terhadap ilmu pengetahuan dan teknologi menjadikan komposit sebagai material alternatif pengganti material konvensional. Komposit ialah material yang terbentuk dari gabungan dua atau lebih material, dimana sifat yang dimiliki material pembentuknya berbeda-beda. Ketersediaan akan bahan baku dari serat pengisi komposit melimpah dari serat organik maupun serat anorganik membuat komposit banyak dikembangkan baik dari bidang akademis maupun industri. Serat organik memiliki kelebihan, ketersediaan yang melimpah, mudah terurai dan ringan. Kekurangan komposit serat alam, ikatan yang kurang baik dan serat alam dapat menyerap air sehingga air dapat masuk ke dalam ikatan. Perlakuan *silane* ini mampu meningkatkan ikatan antara serat dan matrik sehingga membuat komposit memiliki sifat mekanis

lebih baik. Penelitian ini peneliti melakukan pengujian kekuatan *impact* pada material.

Permasalahan yang akan dikaji pada penelitian kali ini, yaitu:

1. Bagaimana kekuatan *impact* dari material komposit epoxy berpenguat serat jelatang dengan fraksi berat 10%, 15%, 20% ?
2. Bagaimana kekuatan *impact* dari material komposit epoxy berpenguat serat jelatang dengan fraksi berat 10%, 15%, 20% dengan perlakuan silane 3%, 6%, 9% ?

Batasan masalah pada penelitian kali ini meliputi:

1. Penelitian ini menggunakan metode *hand lay-up* pada temperatur ruangan.
2. Tumbuhan jelatang yang digunakan berada disekitar kebun di daerah bedugul, umur pohon jelatang yang digunakan berumur ± 1 tahun ,

dengan panjang batang pohon jelatang yang digunakan berukuran minimal 500 mm.

3. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian kekuatan *impact*
4. Orientasi serat yang digunakan adalah serat jelatang yang disusun secara acak

2. Dasar Teori

2.1 Komposit

Komposit ialah material yang terdiri dari dua atau lebih komponen penyusun dimana memiliki karakteristik berbeda yang digabungkan menjadi satu material dengan ikatan mekanis dan kimia yang bertujuan untuk menciptakan material baru, dimana memiliki karakteristik material lebih baik dari material penyusunnya .

2.2 Serat Alam

Serat alam ialah serat yang berasal dari alam. Tanaman jelatang (*Urtica dioica L.*) tanaman yang biasanya tumbuh di daerah dingin, seperti di Bali jelatang banyak tumbuh di daerah tabanan, bedugul dan sekitarnya. Tanaman jelatang memiliki serat pada bagian kulit batangnya. Ekstraksi serat dari kulit batang menggunakan metode *water retting*

.Silane

Perlakuan kimia terhadap serat alam dilakukan dengan merendam ke dalam larutan silikon (Si) dinamakan perlakuan silane [1] Perlakuan silane dilakukan dengan mencampur silane agent dengan larutan *ethanol/aquades*. *Silane coupling agent* memiliki kelompok hidroksi yang dapat tertarik ke dalam kelompok hidroksi pada permukaan serat alam, sehingga *silane* dapat berkontak dengan resin matriks dan menyebabkan kelompok *organo-functional* bereaksi dengan resin matriks dan membentuk ikatan yang kuat [2].

2.3 Pengujian Impact

Beban dari pengujian *impact* didapatkan dari benturan dari pendulum yang dilepaskan dari posisi *h*. Energi yang diserap dapat dihitung dari perbedaan potensial sebagai tolak ukur dari energi *impact*. Energi yang diserap dihitung dengan persamaan:

$$\begin{aligned} E &= E_{awal} - E_{akhir} \\ E &= mgh - mgh' \\ E &= mg(l \cos \alpha) - mg(l \cos \beta) \\ E &= mgl (\cos \alpha - \cos \beta) \end{aligned} \quad (1)$$

Dimana ,

- E = Energi Total (Nm)
- m = Massa Pendulum (Kg)
- g = Gravitasi (m/s^2)
- l = Panjang lengan (m)
- α = Sudut awal pendulum
- β = Sudut akhir pendulum setelah mematahkan spesimen

Jika luas penampang dari benda uji adalah A (mm^2) pada daerah takik sebelum patah maka dapat dihitung kekuatan *impact* dari material :

$$I_s = \frac{E}{A} = \frac{W.l (\cos \alpha - \cos \beta)}{A} \quad (2)$$

3. Metode Penelitian

3.1 Bahan

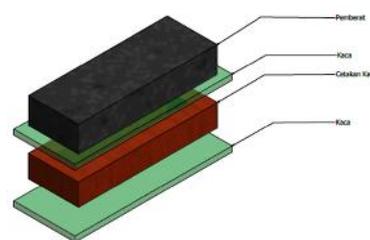
1. Menggunakan matrix resin epoxy.
2. Bahan penguat yang dipergunakan adalah serat tumbuhan jelatang (*urtica dioica L*) yang sudah kering dan telah diberi perlakuan pada zat kimia Silane 3%, 6%, dan 9% .penguat disusun secara acak dengan fraksi berat serat yang telah ditentukan.
3. Larutan *Vinyl Trimethoxysilane*.
4. Gliserin untuk melapisi cetakan agar material komposit yang dihasilkan tidak menempel pada cetakan.

3.2 Alat Penelitian

Mesin uji *impact*, cetakan komposit terbuat dari kayu berbentuk segi empat ukuran sesuai dengan astm d 256 – 04, gelas ukur, jangka sorong, pemberat, timbangan digital, alat foto sem

3.3 Alat Cetak Komposit

Alat cetak komposit ini terdiri dari kayu yang dibuat sesuai ukuran ASTM D 256 – 04, yang berlandaskan dan penutup kaca yang berfungsi agar hasil cetakan komposit pada saat selesai dicetak mendapatkan hasil yang rata dan pada saat pencetakan tidak keluar dari cetakan. Selanjutnya diberikan pemberat kembali diatasnya agar komposit pada saat dicetak lebih padat dan tidak berserakan.



Gambar 1 Skema Cetakan Komposit



Gambar 2 Spesimen Uji Komposit

Gambar 1 adalah skema dari cetakan komposit yang digunakan. Dasar dan permukaan cetakan berisi kaca sebagai penutup cetakan dan sebagai tumpuan beban pemberat nantinya. Gambar 2 spesimen komposit yang siap untuk diuji.

3.4 Prosedur Penelitian

Langkah-langkah dalam pembuatan komposit adalah sebagai berikut:

1. Alat dan bahan dipersiapkan.
2. Serat ditimbang sesuai fraksi berat yang ditentukan.
3. Siapkan cetakan dan dibersihkan terlebih dahulu dengan kuas.
4. Oles gliserin secara tipis dan merata pada bagian dalam cetakan komposit.
5. Resin dan *hardener* dicampur sesuai perhitungan kedalam gelas, aduk sampai tercampur dengan baik.
6. Serat jelatang yang telah diberi perlakuan *silane* serta ditimbang sesuai dengan fraksi berat dimasukkan kedalam campuran resin.
7. Tuang campuran resin dan serat kedalam cetakan dengan menggunakan orientasi serat acak.
8. Tutup cetakan dengan kaca, kemudian ditekan/press dengan pemberat. Hal ini dilakukan dengan harapan void dalam adonan dapat dikurangi.
9. Tunggu hingga spesimen mengering atau mengeras selama 8-12 jam.
10. Ulangi langkah dari awal untuk variasi fraksi berat serat yang telah ditentukan.
11. Setelah kering atau mengeras, komposit dikeluarkan dari cetakan, amati hasil komposit secara manual apakah ada void yang mengumpul.
12. Setelah semua spesimen selesai dibuat, beri code spesimen
13. Pembuatan takik pada spesimen.
14. Spesimen siap untuk diuji.

3.5 Pengamatan Spesimen Uji

Komposit dinyatakan homogen dan berhasil jika tidak terdapat cacat atau void yang mengumpul pada suatu tempat.

Cacat yang lain juga perlu diamati seperti retak, patah, dan yang lainnya yang sangat mempengaruhi spesimen uji. Sampel spesimen uji :

1. Komposit dicetak sesuai standar ASTM D 256-04 untuk pengujian Kekuatan *impact*.
2. Jumlah spesimen untuk pengujian kekuatan *impact* adalah 36 sampel dari setiap variasi fraksi berat serat dengan perlakuan dan tanpa perlakuan *silane*.
3. Permukaan spesimen uji harus rata

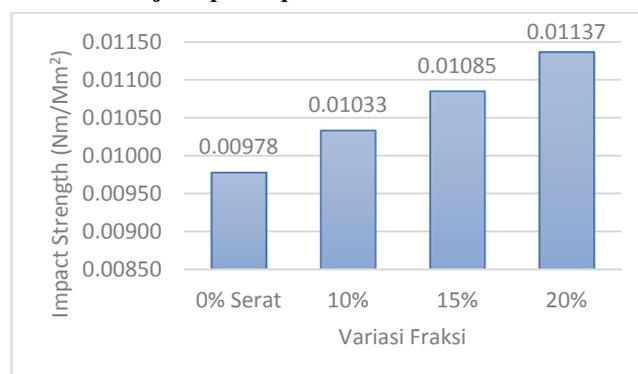
4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Data Spesifikasi

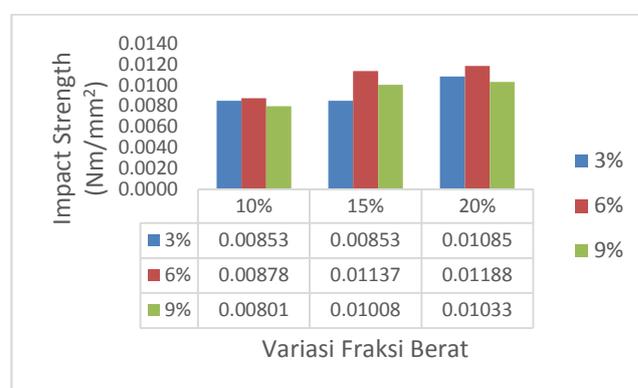
Pengukuran kekuatan *impact* oleh material komposit dilakukan dengan mengacu pada dimensi dari standar ASTM D256 – 04. Ukuran spesimen

63,5 mm x 12,7 mm x 12,7 mm, dengan menggunakan metode *charpy* untuk pengujian kekuatan *impact*.

4.2 Hasil Uji Impact Spesimen



Gambar 3 Grafik Data Kekuatan Impact Berdasarkan Variasi Fraksi Berat Serat Jelatang

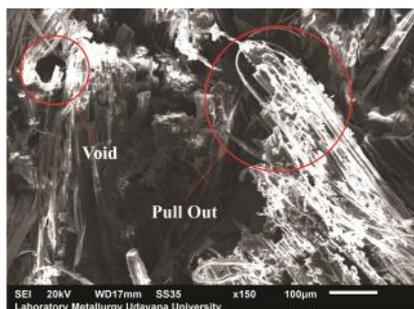


Gambar 4 Grafik Data Kekuatan Impact Spesimen Dengan Perlakuan Silane

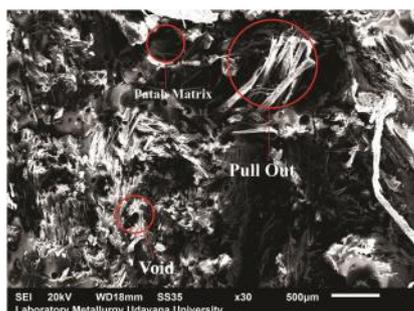
Gambar 3 menunjukkan grafik kekuatan *impact* spesimen berdasarkan fraksi berat serat jelatang, dimana kekuatan *impact* pada spesimen terjadi peningkatan berbanding lurus dengan peningkatan fraksi berat. Kekuatan tertinggi pada spesimen dengan fraksi berat 20% dengan nilai kekuatan 0.01137 Nm/mm², dan kekuatan terendah pada spesimen resin epoxy dengan nilai kekuatan 0.0097 Nm/mm².

Gambar 4 menunjukkan grafik kekuatan *impact* berdasarkan variasi fraksi berat dan variasi konsentrasi silane. Kekuatan *impact* berdasarkan variasi perlakuan silane 3%, 6%, dan 9%, terjadi peningkatan kekuatan pada konsentrasi larutan *silane* 6% dan menurun pada konsentrasi 9%. Nilai kekuatan *impact* tertinggi pada spesimen yang telah diberi perlakuan *silane* yaitu pada spesimen komposit dengan fraksi berat 20% dengan perlakuan konsentrasi larutan silane 6% dengan nilai kekuatan *impact* 0.01188 Nm/mm². Nilai kekuatan *impact* terendah pada spesimen komposit dengan fraksi berat 10% dengan perlakuan konsentrasi larutan silane 9% dengan nilai kekuatan *impact* 0.00801 Nm/mm².

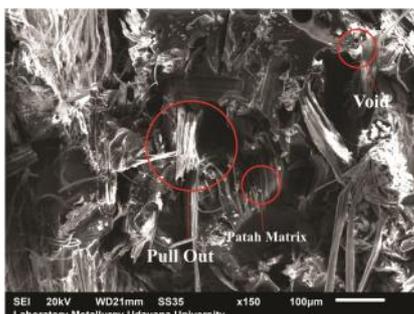
4.3 Hasil Foto SEM



Gambar 5 Foto SEM Spesimen Dengan Fraksi Berat 20% Tanpa Perlakuan Silane Dengan Perbesaran x150



Gambar 6 Foto SEM Spesimen Dengan Fraksi Berat 20% Dengan Perlakuan 6% Silane Dengan Perbesaran x30



Gambar 7 Foto SEM Spesimen Dengan Fraksi Berat 20% Dengan Perlakuan 9% Silane Dengan Perbesaran x150

Pada foto SEM spesimen dengan fraksi berat 20% dengan tanpa perlakuan silane pada perbesaran x150, terlihat terdapat serat pullout dan void pada spesimen.

Pada foto SEM spesimen dengan fraksi berat 20% dengan perlakuan 6% silane dengan perbesaran x150. Berdasarkan data hasil pengujian spesimen ini memiliki rata – rata nilai kekuatan *impact* tertinggi dari spesimen lainnya. Kekuatan *impact* meningkat pada perlakuan 6% *silane*. Foto SEM yang diambil terdapat serat pullout dan juga void yang lebih sedikit dibanding yang lainnya, Terlihat juga dari seratnya yang terlihat lebih kasar dibandingkan dengan spesimen sebelumnya, serat kasar ini memperkuat ikatan antara serat dan matrix yang membuat spesimen ini lebih kuat dari yang lainnya.

Gambar 7 menunjukkan foto SEM spesimen dengan fraksi berat 20% dengan perlakuan 9% silane dengan perbesaran x150. Berdasarkan data hasil pengujian spesimen ini mengalami penurunan

kekuatan. Terlihat pada gambar terdapat serat pullout dan serat patah karena serat pada konsentrasi 9% ini lebih tipis akibat rendaman larutan yang tinggi. Hal yang terjadi yaitu ketika meningkatnya larutan *silane coupling agent* maka berat jenis komposit semakin kecil. Hal ini terjadi karena berat jenis *silane coupling agent* lebih rendah dari berat jenis resin dan serat[3]. Faktor serat yang tipis dan rapuh ini adalah salah satu penyebab spesimen ini memiliki nilai kekuatan *impact* terendah.

5. Kesimpulan

Maka kesimpulan yang dapat ditarik dari hasil penelitian diatas adalah:

1. Kekuatan *impact* dari material epoxy berpenguat serat jelatang dengan fraksi berat 10%, 15%, 20% mengalami peningkatan kekuatan *impact* berbanding lurus dengan peningkatan fraksi berat serat. Perlakuan 6% *silane* pada serat mampu meningkatkan ikatan antara matrix dan serat sehingga kekuatan *impact* meningkat.
2. Kekuatan *impact* dari material epoxy berpenguat serat jelatang dengan perlakuan perendaman *silane* dengan komposisi 3%, 6%, 9% mengalami peningkatan kekuatan pada larutan 6% dari konsentrasi larutan 3% dan mengalami penurunan kekuatan pada konsentrasi 9%.

Daftar Pustaka

- [1] S. Darmanto, 2011, *Peningkatan Kekuatan Serat Serabut Kelapa Dengan Perlakuan Silane*, Mekanika, vol. 11, no. 1, pp. 11-17
- [2] D. A. Nugroho, 2012, *Pengaruh Kadar Silane Sebagai Coupling Agent Terhadap Kekuatan Tarik Perlekatan Pasak Frc E-Glass Prefabricated Dengan Semen Ionomer Kaca Tipe 1 Sebagai Luting Cement*.
- [3] D. Prasetyo, 2013, *Pengaruh penambahan coupling agent terhadap kekuatan mekanik komposit polyester-cantula dengan anyaman serat 3D angle interlock*, Mekanika, vol. 12, no. 1, pp. 44–52.
- [4] ASTM D 256 – 04., 2004. *Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics*, ASTM International, United States.

	<p>Linggih Sulenggar Putra menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana pada Program Studi Teknik Mesin, pada tahun 2020.</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan rekayasa manufaktur</p>	