

ISSN 2302 – 5182



TEKNIK DESAIN MEKANIKA

Jurnal Ilmiah Teknik Mesin

Volume 9 • Nomor 1 • JANUARI 2020 • Hal. 771-879

**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 1

Hal. 771-879

Badung, Januari 2020

ISSN 2302-5182

TEKNIK DESAIN MEKANIKA
Jurnal Ilmiah Teknik Mesin



Volume 9, Nomor 1, Januari 2020, Hal. 771 – 879

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 1, Januari 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 1 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 1 • Januari 2020 • Hal. 771 – 879

Daftar Isi

Analisa Penukar Panas Ringkas pada Boiler di Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap Heikal Tamarendra, I Gusti Bagus Wijaya Kusuma dan I N. Suarnadwipa	771 - 774
Pengaruh Perlakuan Panas (<i>Heat Treatment</i>) Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Perunggu Bahan Gamelan Bali I Putu Agus Kisma Jaya, I Ketut Gede Sugita dan IGN. Priambadi	775 - 780
Pengaruh Perlakuan Panas (<i>Heat Treatment</i>) Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Perunggu Bahan Gamelan Bali I Putu Agus Kisma Jaya, I Ketut Gede Sugita dan IGN. Priambadi	781 - 784
Study Eksperimental Penggunaan Dry Ice Untuk Konfigurasi Staggered Dengan Massa Pengisian Tube 100% Terhadap Performansi Dew Point Cooling System Komang Mas Gelgel, Hendra Wijaksana, dan I N. Suarnadwipa	785 - 790
Performansi Sistim Pendingin dengan Solid Dry Pad sebagai Pendingin Awal Udara Evaporator dan Kondensor Dhanang Rakasiwi, Hendra Wijaksana, I N. Suarnadwipa	791 - 797
Performansi Sistem Pendingin dengan Solid Dry Pad sebagai Pendingin Awal Udara pada Kondensor Dek Ogi Widhiana AI, Hendra Wijaksana, N. Suarnadwipa	798 - 803
Pengaruh Perlakuan NaOH Pada Ampas Tebu Sebagai Penguat Material Biokomposit Resin Akrilik Terhadap Kekuatan Tarik Dan Bending I Made Wirautama Putra, Cok Istri Putri Kusuma, Dewa Ngakan Ketut Putra Negara	804 - 810
Pengaruh Variasi Total Solid Limbah Kulit Kakao Terhadap Volume Biogas Digester Termofilik Zevana Prima Anggara Prathama, I Nyoman Suprpta Winaya, dan I Gusti Ngurah Putu Tenaya	811 - 815
Pengaruh Total Solid Terhadap Akumulasi Tekanan Biogas Termofilik Maulana Fachri Baskara, Prof. I Nym Suprpta, dan I Gst. Ngurah Putu Tenaya	816 - 819
Analisa Volume Biogas Harian Berbahan Baku Limbah Kulit Durian Dengan Variasi	820 - 823

Temperatur Termofilik I Made Panji Tirta Prakasa, I Nyoman Suprapta Winaya dan I Gusti Ngurah Putu Tenaya	
Studi Eksperimental Pengaruh Serbuk Mikroalga Tropika Dan Grafit Pada Limbah Chitosan Terhadap Tegangan Bending Dan Konduktivitas Termal Komposit PCM James Limantara, I Nyoman Suprapta Winaya, I Made Astika	824 - 830
Performansi Evaporative Cooling Dengan Penggunaan <i>In-Line Dry Pad</i> Sebagai Pre-Air Cooling Pada Evaporator Anak Agung Gde Baskara Putra, Hendra Wijaksana, Wayan Nata Septiadi	831 - 834
Studi Analisa Komposisi Volume Grafit Terhadap Kekuatan Lentur Komposit PCM Kerak Lilin Dan Serat Sabut Kelapa Gerhard Andreas, I Nyoman Suprapta Winaya, I Made Astika	835 - 839
Karakteristik Fisik Dan Mekanik Panel <i>Green Composite</i> Serat Pelepah Pisang Resin Getah Pinus Dengan Variasi Fraksi Volume Putri Wahyu N.A. , C.I.P.K Kencanawati, I Wayan Surata	840 - 845
Sifat Mekanis Sambungan <i>Similar Stainless Steel 304</i> Dengan Variasi Ketebalan dan Diameter <i>Spot Welding Electrode Taper</i> Aditia Arif Gunawan, I N. Gde Antara, dan I N. Budiarsa	846 - 850
Pengaruh Variasi Timing Pengapian Terhadap Torsi, Daya Dan Konsumsi Bahan Bakar Mesin Injeksi 1500 CC Bastian Yuda Kriswinarto, IGK Sukadana dan I Wyn Bandem Adnyana	851 - 857
Sifat Mekanis Sambungan <i>Dissimilar sStainless Steel 304 – Baja Karbon ST 37</i> Dengan Variasi Diameter <i>Spot Welding Electrode Taper</i> N. Agus Surya P, IN. Budiarsa, ING. Antara.	858 - 862
Karakteristik Fisik dan Mekanik Biokomposit Serat Pelepah Pisang Resin Getah Pinus dengan Variasi NaOH 2%, 5%, dan 10% Kadek Yudi Pradnyana P., Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati, I Wayan Surata	863 - 868
Karakteristik Fisik Dan Mekanik Panel Biokomposit Serat Pelepah Pisang Resin Getah Pinus Variasi Waktu Perendaman Serat Dengan NaOH Putu Deta Yoga Pramana, I Wayan Surata dan Cok Istri Kusuma Kencanawati	869 - 875
Pemanfaatan Batang Tanaman Sorgum Dalam Pembuatan Bioetanol Sekaligus Sebagai Bahan Alternatif Pengganti Bahan Bakar Minyak (BBM) I Made Suyana K., I Gusti Bagus Wijaya Kusuma dan A.A I A Sri Komaladewi	876 - 879

Analisa Penukar Panas Ringkas pada Boiler di Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap

Heikal Tamarendra, I Gusti Bagus Wijaya Kusuma dan I N. Suarnadwipa
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Penelitian ini berupaya untuk membuat ukuran boiler pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap yang semula ukurannya sangat besar menjadi ringkas akan tetapi performansi dalam hal ini adalah efektivitas dari boiler itu sendiri tetap atau dapat ditingkatkan. Penelitian ini menggunakan teori keefektifitasan NTU dan untuk mendapatkan dimensi dari penukar panas, pada penelitian ini menggunakan pemrograman komputer dengan bahasa program Python untuk melakukan iterasi agar mendapatkan dimensi yang ringkas namun memiliki kinerja yang tinggi. Berdasarkan data yang diperoleh, penelitian ini mendapatkan desain penukar panas yang paling ringkas. Dimensi dari penukar panas ini ialah 2ft x 2ft x 9ft. dimensi ini sangatlah ringkas dimana volume total yang didapatkan kurang dari 50ft³. Sedangkan nilai luasan perpindahan panas per volume (β) ialah 252,56 ft²/ft³ yang dimana sudah memenuhi persyaratan ($\beta > 213,35$ ft²/ft³).

Kata kunci: Penukar panas ringkas, ketel uap, pemrograman

Abstract

This study seeks to make the size of the boiler in a Gas and Steam Power Plant which was originally very large in size to be compact but the performance in this case is the effectiveness of the boiler itself remains or can be improved. This study uses the NTU effectiveness theory and to get the dimensions of the heat exchanger, in this study using computer programming with the Python programming language to iterate to get a compact dimension but has high performance. Based on the obtained data, this study obtained the most compact heat exchanger design. The dimensions of this heat exchanger are 2ft x 2ft x 9ft. This dimension is very compact where the total volume obtained is less than 50ft³. While the value of the heat transfer area per volume (β) is 252.56 ft²/ft³ which meets the requirements ($\beta > 213.35$ ft²/ft³).

Keywords: Compact heat exchanger, boiler, programming

1. Pendahuluan

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efektivitas alat penukar kalor adalah dengan mengubah menjadi bentuk yang ringkas. Boiler merupakan salah satu komponen utama pada sistem pembangkit listrik dan merupakan komponen penukar kalor yang sangat penting. Namun boiler yang di gunakan pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap memiliki dimensi yang sangat besar dan tentu saja hal tersebut akan berpengaruh terhadap efektivitas yang di hasilkan. Prinsip kerja pada boiler sendiri ialah dengan cara memanaskan air sehingga berubah fase menjadi uap panas lanjut (*superheated steam*). Selanjutnya uap panas lanjut tersebut dialirkan ke sistem turbin uap sehingga memutar turbin uap dan selanjutnya menghasilkan listrik. Dengan menggunakan parameter fluida dalam boiler seperti temperatur, tekanan dan laju aliran massa, penelitian *redesign compact boiler* dapat dilakukan. Dikarenakan dimensi boiler menjadi lebih kecil atau lebih ringkas namun memiliki kinerja yang sama, efisiensi *compact boiler* akan lebih tinggi.

Dalam hal ini maka ada permasalahan yang akan dikaji, yaitu bagaimana cara mendesain ulang sistem boiler pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap dengan pemrograman komputer agar memiliki desain yang lebih ringkas (*compact boiler*) namun memiliki kinerja yang sama atau dapat ditingkatkan dengan yang ada saat ini.

Beberapa batasan ditetapkan dalam penelitian ini meliputi:

1. Perhitungan komputasi dan analisa dilakukan berdasarkan pada perpindahan panas dan termodinamika yang terjadi pada boiler.
2. Kinerja yang dibahas ialah efektivitas boiler dan penurunan tekanan yang terjadi.
3. Tidak membahas bahan dan kekuatan material.
4. Tidak memperhitungkan *fouling factor*.

2. Dasar Teori

Compact heat exchangers (CHEs) atau yang bisa disebut penukar panas ringkas ialah teknologi yang sudah lama diterapkan seperti dalam industri otomotif, *aerospace* dan lain sebagainya. CHEs juga bisa didefinisikan sebagai penukar panas yang memiliki luasan penukaran panas tinggi. *Fin* (sirip) merupakan ciri khas dari sebuah CHEs. Sirip disini bertujuan untuk meningkatkan luas perpindahan panas pada CHEs, sehingga walaupun memiliki desain yang ringkas CHEs memiliki kinerja penukaran panas yang sama dengan *heat exchangers* yang sejenis yang memiliki dimensi yang lebih besar.

Keefisienan sirip total dapat dihitung dengan persamaan [1]:

$$\eta_o = 1 - \frac{A_f}{A_o} (1 - \eta_f) \quad (1)$$

$$\frac{A_f}{A_o} = \text{Luasan sirip per luasan perpindahan panas total}$$

$$\eta_f = \text{Efisiensi 1 sirip}$$

Sedang bila untuk mengetahui unjuk kerja suatu penukar panas akan lebih mudah bila dipakai melalui metode keefktifitasan NTU. NTU sendiri didefinisikan sebagai [1]:

$$NTU = \frac{U \cdot \alpha \cdot V_{total}}{C_{min}} \quad (2)$$

U = Koefisien Perpindahan Panas Total (BTU/hr.ft².°F)

α = Luas Perpindahan Panas Total per Volume Total

Apabila nilai dari NTU didapatkan, mencari efektivitas penukar panas ringkas dapat dilakukan dengan persamaan [2]:

$$\epsilon l = 1 - \exp\left(\frac{1}{Cr}\right) \cdot (NTU)^{0.22} \cdot \{\exp[-Cr \cdot (NTU)^{0.78}] - 1\} \quad (3)$$

Cr = Rasio Laju Kapasitas

Dalam metode ini, untuk mendapatkan *pressure drop* dari sebuah alat penukar panas dapat dihitung sesuai dengan persamaan yang dijelaskan [1] yaitu:

$$\Delta P = \frac{G^2 \cdot v_1}{2gc} \cdot [(Kc + 1 - \sigma^2) + 2 \cdot \left(\frac{v_2}{v_1} - 1\right) + f \cdot \frac{A}{Ac} \cdot \frac{vm}{v_1} - (1 - \sigma^2 - Ke) \cdot \frac{v_2}{v_1}] \quad (4)$$

G = Mass Flux (lbm/hr.ft²)

gc = Percepatan Gravitasi (ft/hr²)

v = Volume Spesifik (ft³/lbm)

3. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode keefktivitasan-NTU untuk mendapatkan nilai performansi *boiler* yang dimana dalam hal ini adalah keefktivitasan dan penurunan tekanan yang terjadi. Adapun alasan menggunakan metode efektivitas-NTU ialah karena penelitian ini mendesain suatu penukar panas. Apabila penukar panas sudah terealisasikan, maka analisa harus menggunakan metode *log mean temperature difference* (LMTD) [4].

Sedangkan untuk mendapatkan ukuran penukar panas ringkas dan melakukan perhitungan secara matematis, penelitian ini menggunakan aplikasi *PyCharm IDE* dengan bahasa pemrograman *Python*.

Analisa ini lebih banyak menggunakan analisa piranti yang digunakan. Adapun prosedur penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Memasukan parameter penelitian
Thi, Tho, m_{methane}, Ph, Tci, Tco, m_{water}, Pc
2. Mencari sifat air dan gas berdasarkan ΔT fluida
μ, k, Pr, Cp, ρ

3. Mencari harga pertukaran panas dan harga keefktivitasan boiler awal
4. Mencari parameter lain yang dibutuhkan
5. Memasukan persamaan-persamaan yang diperlukan ke program komputer (*PyCharm IDE*)
6. Menjalankan proses iterasi yang dilakukan secara komputional
7. Mendapatkan dimensi *compact heat exchanger* dan nilai properties dari *compact heat exchanger*

4. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini menggunakan data dari fluida kerja pada *boiler* di Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap, adapun data tersebut ialah:

1. Fluida Panas

Thi = 355 °F
Tho = 185 °F
m_h = 15.873 lbm/hr
Ph = 35 Psig

2. Fluida Dingin

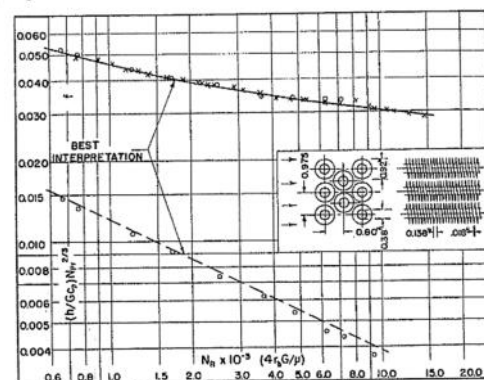
Tci = 95 °F
Tco = 145 °F
m_c = 95.238 lbm/hr
Pc = 1,8 Psig

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan properti laju kapasitas pada kedua fluida, didapatkan keefktivitas *boiler* yang ada saat ini ialah 0,65 atau 65%.

4.1. Spesifikasi Pipa dan Sirip

Spesifikasi pipa dan sirip yang digunakan dalam mendesain penukar panas ringkas dalam penelitian ini menggunakan *surface CF-7.34* [1]. Adapun spesifikasi yang digunakan ialah:

Fig. 10-75. Finned circular tubes, surface CF-7.34.



Tube outside diameter = 0.38 in.
Fin pitch = 7.34 per in.
Flow passage hydraulic diameter, 4r_h = 0.0154 ft
Fin thickness (average)* = 0.018 in., aluminum
Free-flow area/frontal area, σ = 0.538
Heat transfer area/total volume, α = 140 ft²/ft³
Fin area/total area = 0.892

Gambar 1. Spesifikasi Pipa dan Sirip

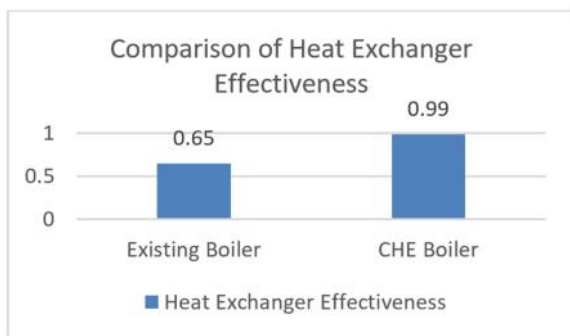
4.2. Keefesiensian Sirip

Berdasarkan persamaan (1) keefesiensian pada 1 sirip ialah 0,823 atau 82,3% sehingga keefesiensian sirip total ialah 0,842 atau 84,2%. Harga dari keefesiensian sirip total ini ialah sangat tinggi dimana hal ini berdampak baik pada perpindahan panas yang akan terjadi pada penukar panas ringkas.

Menurut [3] mendefinisikan efisiensi sirip sebagai perbandingan antara harga h di permukaan tabung terhadap harga h di $x = L$. sehingga pada tabung polos, efisiensi ini sama dengan 100%, sebab h pada $x = L$ adalah sama dengan h pada permukaan tabung.

4.3. Keefektivan Penukar Panas Ringkas

Dengan menggunakan persamaan (2) didapatkan harga dari *Number of Heat Transfer Unit* sebesar 6,76. Dengan didapakkannya harga dari NTU, maka keefektivitasan dari penukar panas ringkas ini dapat ditentukan. Dengan menggunakan persamaan (3), nilai keefktivitasan penukar panas ringkas sendiri adalah sebesar 0,99 atau 99%. Dimana nilai keefktivitasan ini lebih besar dibandingkan dengan keefktivitas pada *boiler* sebelumnya. Perbandingan dari keefktivitas boiler dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Perbandingan Keefktivitasan Boiler

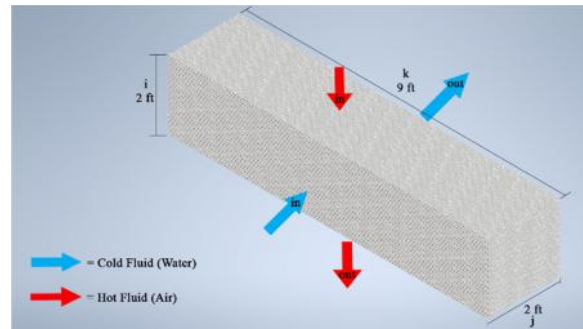
4.4. Boiler Pressure Drop

Pada penelitian ini, penukaran panas terjadi dengan sifat *cross flow both fluid unmixed*. Oleh karena itu digunakan persamaan (4) untuk menentukan penurunan tekanan yang terjadi. Penurunan tekanan terjadi pada sisi fluida panas sebesar 0,0121 Psig, dimana penurunan tekanan yang terjadi ini sangatlah kecil sehingga tidak berpengaruh besar terhadap kinerja dari penukar panas.

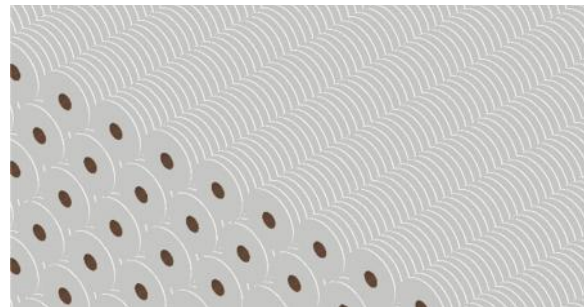
4.4. Desain Penukar Panas Ringkas

Penelitian ini menggunakan perhitungan secara iterasi untuk mendapatkan desain penukar panas ringkas yang paling ringkas. Perhitungan iterasi ini sendiri menggunakan aplikasi *PyCharm IDE* yang dilakukan sebanyak 1000 kali perhitungan (dikarenakan ditentukan batas minimal pada satu sisi ialah 1ft sampai 10ft). Adapun ukuran dari penukar panas yang didapat ialah 2ft x 2ft x 9ft dengan

volume total ialah 36ft³. Desain dari penukar panas dapat dilihat pada Gambar 3 sampai Gambar 6.



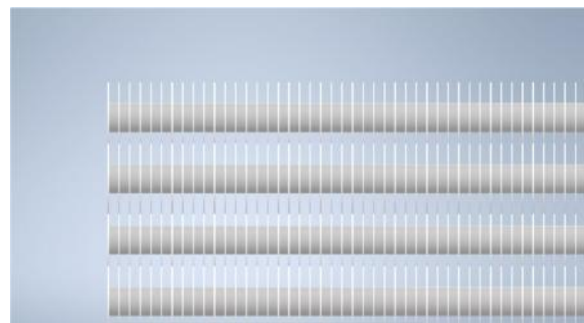
Gambar 3. Desain Penukar Panas Ringkas



Gambar 4. Desain Sirip dan Pipa



Gambar 5. Pipa disusun secara *Staggered*



Gambar 6. Sisi Samping Pipa dan Sirip

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai analisa penukar panas ringkas pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap dapat disimpulkan beberapa hal antara lain:

1. Keefektivitasan pada penukar panas ringkas meningkat, hal ini dikarenakan adanya sirip sebagai *extended surfaces of heat exchanger*.
2. Penelitian ini mendapatkan ukuran penukar panas ringkas sebesar 2ft x 2ft x 9ft dengan volume perpindahan panas total sebesar 36ft³.
3. Terjadi penurunan tekanan yang terjadi pada penukar panas ringkas sebesar 0,0121 Psig yang dimana penurunan tekanan yang terjadi sangatlah kecil.
4. Terdapat total jumlah pipa sebanyak 3410 pipa dan total jumlah sirip sebanyak 593.240 buah pada penukar panas ringkas ini.

Daftar Pustaka

- [1] W. M. Kays, A. L. London, 1964, *Compact Heat Exchanger*, McGraw Hill, New York.
- [2] F. P. Incropera, D. P. Dewitt, T. L. Bergman, A. S. Lavine, 2007, *Fudamentals of Heat and Mass Transfer (Sixth Edition)*, John Wiley & Sons, Hoboken.
- [3] D. O. Kern, 1983, *Proscess Heat Transfer*, Mc.Graw Hill International Company, Japan.
- [4] W. M. Rohsenow, J. P. Hartnett, Y. I. Cho, 1998, *Handbook of Heat Transfer (Third Edition)*, McGraw-Hill, New York.



Heikal Tamarendra menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana pada Program Studi Teknik Mesin, pada tahun 2020.

Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan perpindahan panas dan termodinamika.

Pengaruh Perlakuan Panas (*Heat Treatment*) Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Perunggu Bahan Gamelan Bali

I Putu Agus Kisma Jaya, I Ketut Gede Sugita dan IGN. Priambadi
Program Studi Teknik Mesin, Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Gamelan Bali adalah salah satu jenis alat musik gamelan tradisional yang khas dari Bali. Perunggu adalah material utama yang digunakan untuk membuat gamelan. Perunggu merupakan paduan antara tembaga dan timah putih yang digunakan sebagai paduan utamanya, dan unsur-unsur lain yang mempunyai sifat yang tahan terhadap korosi. Gamelan dibuat dengan penempaan menggunakan hummer forging yang masih bertumpu pada kemampuan tenaga manusia. Kelemahan utama proses ini adalah pemadatan material yang satu dengan yang lainnya tidak merata, tegangan sisa yang terjadi akibat proses forging tidak bisa dihindari. Tegangan sisa menyebabkan produk akan mudah retak ataupun sifat mekanis logam akan menurun, selain itu juga bahan yang digunakan memiliki sifat getas yang sering kali ditemukan pada proses produksi, terutama pada saat forging. Material uji yang digunakan adalah campuran Tembaga 80%(Cu) dan Timah Putih 20%(Sn). Selanjutnya material yang sudah dicor diberi perlakuan panas 200 , 300 , 400 , dan 500 dengan waktu penahanan (holding time) 30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit, dan satu bilah uji tanpa perlakuan panas. Pengambilan data uji kekerasan menggunakan metode vickers dan pengambilan gambar struktur mikro dengan mikroskop optik. Hasil penelitian menunjukkan perhitungan kekerasan (HVN) diketahui rata-rata spesimen dengan perlakuan panas 300°C sebesar 268,89 kg/mm² lebih besar dari temperatur 400°C sebesar 259,51 kg/mm², sedangkan 200°C sebesar 244,38 kg/mm², dan 500°C sebesar 233,29 kg/mm² dibandingkan dengan spesimen yang tanpa perlakuan sebesar 228,63 kg/mm². Pada hasil struktur mikro dapat disimpulkan semakin besar butiran-butiran kristal terbentuk dan kerapatan nampak rapi maka nilai kekerasan (HVN) semakin meningkat.

Kata kunci: Temperatur, Perlakuan Panas, Waktu Penahanan, Perunggu, Kekerasan, dan Struktur Mikro

Abstract

Balinese gamelan is one type of traditional gamelan musical instrument that is typical of Bali. Bronze is the main material used to make gamelan. Bronze is an alloy between copper and tin which is used as its main alloy, and other elements that have corrosion resistant properties. Gamelan is made by forging using hummer forging which still relies on the ability of human labor. The main drawback of this process is the uneven compression of material with one another, the residual stress caused by the forging process cannot be avoided. Residual stresses cause the product to crack easily or the mechanical properties of the metal will decrease, but also the material used has brittle properties that are often found in the production process, especially during forging. The test material used is a mixture of 80% Copper (Cu) and 20% White Tin (Sn). Furthermore, the material that has been casted is given a heat treatment of 200 , 300 , 400 and 500 with holding time of 30 minutes, 60 minutes, 90 minutes, 120 minutes, and one test bar without heat treatment. Retrieval of hardness test data using the method of vickers and taking microstructure images with optical microscopy. The results showed that the calculation of hardness (HVN) showed that the average specimen with a heat treatment of 300 ° C was 268.89 kg / mm² which was greater than the temperature of 400 ° C which was 259.51 kg / mm², while 200 ° C was 244.38 kg / mm², and 500 ° C at 233.29 kg / mm² compared to specimens without treatment of 228.63 kg / mm². In the microstructure results, it can be concluded that the larger the crystal grains are formed and the density looks neat, the hardness (HVN) value increases.

Keywords: Temperature, Heat Treatment, Holding Time, Bronze, Hardness, and Micro Structure

1. Pendahuluan

Gamelan Bali adalah salah satu jenis alat musik gamelan tradisional yang khas dari Bali. Gamelan Bali merupakan perangkat seni yang digunakan sebagai penunjang aktivitas budaya bagi masyarakat Bali. Gamelan Bali memiliki beberapa perbedaan dengan alat musik gamelan pada umumnya, baik dalam bentuk maupun cara memainkannya. Proses memainkan gamelan dilakukan dengan memukul bilah-bilah gamelan tersebut sehingga diperoleh bunyi dari gamelan yang dimainkan.

Perunggu adalah material utama yang digunakan untuk membuat gamelan. Perunggu merupakan paduan antara tembaga dan timah putih yang digunakan sebagai paduan utamanya, dan unsur-unsur lain yang mempunyai sifat yang tahan terhadap korosi. Perunggu yang digunakan dalam penelitian dengan kadar tembaga 80% (Cu) dan timah putih 20% (Sn) [1].

Bertitik tolak dari hasil pengujian eksperimen yang telah dilakukan terhadap gamelan tradisional, didapat satu permasalahan yang penting untuk diteliti lebih lanjut, yaitu pelepasan tegangan sisa. Tegangan

sisa (*residual stress*) adalah tegangan yang tetap berada pada material meskipun beban luar (*eksternal load*) dilepas dari material tersebut. Tegangan sisa dapat ditimbulkan dari aktivitas thermal maupun aktivitas deformasi [2].

Penelitian yang dilakukan adalah dengan melakukan pengujian pada bilah gangsa. Metode yang digunakan untuk dapat mewujudkan pada penelitian ini adalah perlakuan panas pada suhu temperatur 200 , 300 , 400 , dan 500 dengan waktu penahanan 30 menit, 60 menit, 90 menit, dan 120 menit. Tujuan penelitian secara umum adalah untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas dan waktu penahanan terhadap kekerasan dan struktur mikro bilah gamelan Bali yang selanjutnya kualitas dan kuantitas dari coran dilakukan pengujian metalografi menggunakan mikroskop.

2. Dasar Teori

2.1 Pengecoran

Pengecoran (*Casting*) adalah salah satu proses pembentukan logam, pada proses ini logam dicairkan menggunakan tungku pada temperatur tertentu. Kemudian dituang kedalam cetakan, dan didinginkan hingga beku. Dalam proses pengecoran, tembaga dipanaskan terlebih dahulu sampai mencair kira-kira suhu 1085°C [3].

2.2 Bahan Pengecoran

Perunggu merupakan paduan antara tembaga (Cu) dan timah (Sn). *Tin bronze* dengan komposisi 80% Cu - 20% Sn umumnya digunakan untuk bahan instrumen musik seperti *bell*, gamelan, karena paduan ini memiliki sifat mekanis yang baik, stabil dalam kondisi temperatur ruang, sifat akustik yang baik yaitu dapat menghasilkan suara yang panjang.

2.3 Proses Pembuatan gamelan

Pembuatan gamelan Bali bertumpu pada proses pengecoran. Peleburan paduan logam pada produksi gamelan, dilakukan dengan dua tahap peleburan. Pertama khusus untuk pencampuran tembaga dengan timah putih, Pada peleburan tahap ini dilakukan pada dapur dan kowi dengan kapasitas yang besar.

2.4 Perlakuan Panas

Perlakuan panas adalah proses untuk memperbaiki sifat-sifat dari logam dengan jalan memanaskan coran sampai temperatur yang cocok dibiarkan beberapa waktu pada temperatur itu. Kemudian didinginkan ke temperatur yang lebih rendah seperti udara, air, air garam, oli, dan solar yang masing-masing mempunyai kerapatan pendinginan yang berbeda-beda. Sifat mekanis baja juga akan dipengaruhi proses pendinginan yang dilakukan. Beberapa jenis perlakuan panas antara lain *normalizing*, *annealing*, *quenching*, *tempering*, dan *hardening* yang dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan logam.

2.5 Pengujian Kekerasan Vickers

Pelaksanaan test mekanik pada material menunjukkan bahwa cara percobaan kekerasan adalah mengamati ketahanan material terhadap identitas

material lain dan pelaksanaannya relatif lebih mudah dari pada percobaan-percobaan yang lainnya, serta dapat pula dipakai mengetahui tentang kekuatan material dalam hubungan dengan perlakuan panas yang diterimanya.

2.6 Pengujian Struktur mikro

Karakteristik suatu material sangat tergantung dari struktur mikro yang membentuk material tersebut. Untuk dapat memahami dengan baik tingkah laku material dalam aplikasinya dan untuk mengontrol karakteristik mekanik maupun fisik dari material tersebut, maka sangat diperlukan adanya pengamatan secara kualitatif maupun kuantitatif tentang struktur mikronya.

3. Metode Penelitian

3.1 Bahan Penelitian

Material yang digunakan sebagai bahan uji adalah bilah gangsa menengah yang sudah di forging.



Gambar 1. Bilah Gangsa menengah
(Sumber: Observasi, 14 Februari 2018)

Adapun komposisi variasi campuran coran:

1. Komposisi campuran paduan 80% (Cu) dan 20% (Sn).

3.2 Alat

Dalam melaksanakan penelitian ini alat-alat yang digunakan untuk mendapatkan data adalah:

1. Tungku/dapur pemanas
2. Stopwatch
3. Komputer
4. Mesin gerinda potong
5. Jangka sorong
6. Amplas halus
7. Autosol
8. Lap kering
9. Kamera digital
10. Mesin uji kekerasan
11. Mesin uji struktur mikro

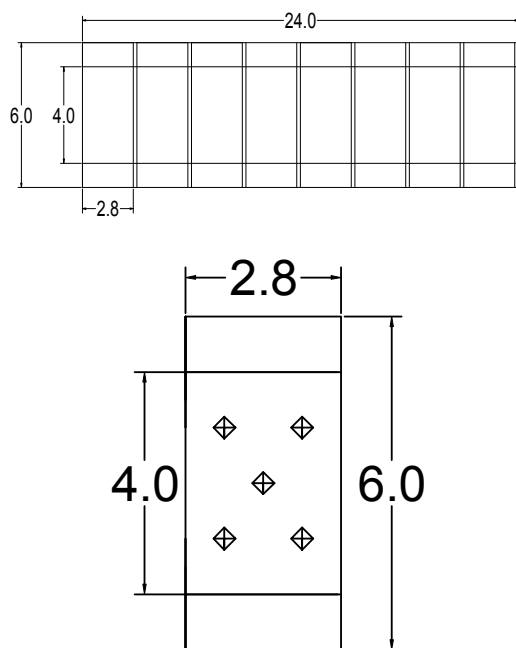
3.3 Lingkup Penelitian

1. Lingkup penelitian ini adalah variabel komposisi campuran tembaga dan timah putih yaitu: 80% (Cu) dan 20% (Sn).
2. Variasi temperatur yang diberikan adalah 200 , 300 , 400 , 500 .
3. Waktu penahanan (holding time) 30 menit, 60 menit, 90 menit, dan 120 menit.

3.4 Pembentukan Spesimen Uji

Proses pembuatan spesimen uji untuk pengujian sebagai berikut:

1. Pemotongan spesimen
Spesimen pengujian yang sudah di forging dengan panjang 24 cm dipotong dengan ukuran: 6cm x 2,8cm x 1cm, pemotongan spesimen ini menggunakan gergaji mesin. Potongan spesimen uji dapat dilihat pada gambar 3.3.
2. Pengukuran spesimen
Spesimen yang sudah di potong diukur menggunakan jangka sorong agar ukurannya presisi sesuai dengan ketentuan.
3. Pengampelasan
Pengampelasan bertujuan untuk meratakan dan memperhalus permukaan spesimen menggunakan amplas dengan ukuran kekasaran: 500, 1000, 1500 dan 2000 dengan waktu pengampelasan yang sama.
4. Pemolesan
Pemolesan dilakukan dengan autosol. Proses poles ini bertujuan untuk memperhalus dan mengkilapkan permukaan sehingga mempermudah untuk pengujian kekerasan dan struktur mikro.



Gambar 2. Potongan Spesimen Uji

3.5 Pelaksanaan Penelitian

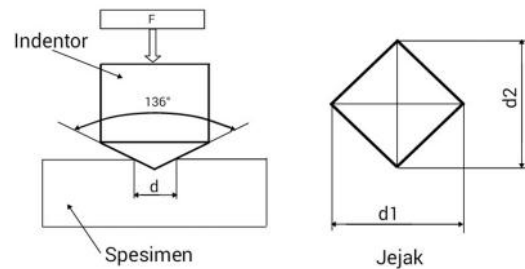
3.5.1. Perlakuan Panas (Heat Treatment)

Setelah spesimen selesai dibuat kemudian spesimen dimasukkan kedalam dapur pemanas dengan temperatur 200 dengan waktu 30 menit, 60 menit, 90 menit, dan 120 menit. Pemanasan bilah gamelan dilanjutkan dengan temperatur 300, 400, dan 500 dalam waktu pemanasan yang sama. Selanjutnya potongan bilah ditandai sesuai dengan temperatur dan waktu untuk pengujian kekerasan

dan struktur mikro. Setelah melakukan pemanasan, bilah gamelan yang sudah dipanaskan dibiarkan mendingin. Proses pendinginan ini dilakukan menggunakan media pendingin dari udara sekitar.

3.5.2. Pengujian Kekerasan (Uji Vickers)

Metode pengujian kekerasan Vickers dilakukan dengan cara menekan spesimen atau bilah gamelan dengan indenter intan yang berbentuk piramida dengan alas segi empat dan besar sudut dari permukaan-permukaan yang berhadapan 136°. Penekanan oleh indenter akan menghasilkan suatu jejak atau lekukan pada permukaan benda uji.



Gambar 3. Uji Vickers

3.5.3. Pengujian Struktur Mikro

Tahapan pengujian struktur mikro sebagai berikut:

1. Bilah gamelan dihaluskan permukaannya menggunakan amplas dengan tingkat kehalusan dari 400, 600, 800, 1000, 1500, 2000 CC-CW.
2. Menggosok bilah gamelan pada *polishing wheels*.
3. Bilah gamelan *dietching* dengan menggunakan larutan campuran antara 50 ml HNO₃ dan 50 ml H₂O_(a), bersihkan dengan alkohol kemudian dikeringkan.
4. Menggunakan mikroskop dengan spesifikasi mikro photo.
5. Letakan bilah gamelan di atas meja pengamatan.
6. Pasangkan kamera photo di atas mikroskop optik.
7. Atur kecerahan pada mikroskop agar permukaan bilah gamelan yang diamati terlihat dengan jelas. Letak mikroskop harus diatur sedemikian rupa terhadap cahaya agar didapatkan kecerahan yang benar - benar jelas.
8. Setelah mendapatkan pengamatan yang baik, kita ambil gambar dengan menggunakan kamera mikro photo dengan menggunakan *software* SW 1.0 yang telah terpasang.
9. Tarik garis dari atas dan bawah pada tampilan program SW 1.0 untuk menentukan luasan yang akan diukur.
10. Klik setiap butir struktur mikro untuk menghasilkan polygon-polygon.
11. Klik simbol Microsoft Excel pada program SW 1.0 untuk mendapatkan hasil luasan polygon berupa data yang harus diolah lagi.

12. Olah data Excel sehingga didapat hasil luasan ang dicari.
13. Ulangi langkah-langkah tersebut pada bilah gamelan berikutnya.



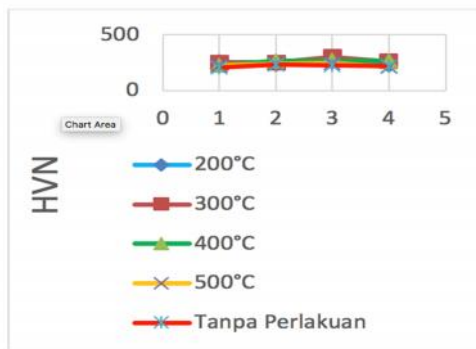
Gambar 4. Alat Uji Struktur Mikro (Sumber: Observasi, 13 Maret 2018)

4. Hasil dan Pembahasan

Setelah melakukan penelitian dan pengamatan, yang tentunya dimulai dari proses pengecoran, membuat benda uji, serta memberi variasi waktu *holding time* dan temperature pada benda uji. Dalam penelitian ini dilakukan proses pengujian kekerasan dan struktur mikro pada perunggu.

Penelitian ini dilakukan dengan cara memberikan perlakuan panas serta memberi variasi waktu *holding time* dan didinginkan dengan media udara sekitar.

4.1 Data Hasil Pengujian Kekerasan Vickers



Gambar 5. Grafik nilai kekerasan dari uji vickers.

Pada tabel 6 menyajikan data nilai rata-rata dari 16 spesimen yang dimana didapat dari hasil pengujian kekerasan dengan menggunakan metode vickers. Dapat dilihat pada tabel 6 bahwa nilai kekerasan dari pengecoran perunggu dengan perlakuan panas 200°C, 300°C, 400°C, dan 500°C didapat bahwa pada temperatur 300°C sebesar 268,89 kg/mm² lebih besar dari temperatur 400°C sebesar 259,51 kg/mm², sedangkan 200°C sebesar 244,38 kg/mm², dan 500°C sebesar 233,29 kg/mm² dibandingkan dengan spesimen yang tanpa perlakuan sebesar 228,63 kg/mm². Hal ini menjelaskan bahwa perlakuan panas pada temperatur 300°C lebih baik dibandingkan dengan spesimen yang tanpa perlakuan panas. Nilai perbandingan rata-rata dari perunggu dengan perlakuan panas 200°C, 300°C, 400°C,

500°C, dan tanpa perlakuan dapat dilihat pada gambar 6, sebagai berikut:



Gambar 6. Grafik perbandingan kekerasan vickers (HVN).

4.2 Data Hasil Pengamatan Struktur Mikro

Pada analisa struktur mikro spesimen pengujian mengalami proses perlakuan panas berbeda yaitu dengan temperatur 200°C, 300°C, 400°C, dan 500°C dan *holding time* 30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit dan yang tanpa perlakuan. Pengamatan Struktur mikro dengan pembesaran 100X, dimana hasil gambar didapat sebagai berikut :

1. Temperatur 200°C



Gambar 7. Temperatur 200°C holding time 30 menit



Gambar 8. Temperatur 200°C holding time 60 menit



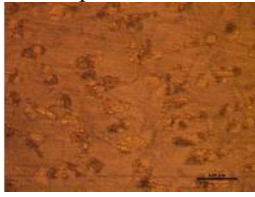
Gambar 9. Temperatur 200°C holding time 90 menit



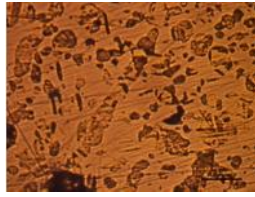
Gambar 10. Temperatur 200°C holding time 120 menit

Struktur mikro terlihat pada gambar 7 dengan perlakuan panas 200°C *holding time* 30 menit memiliki kerapatan lebih baik dan butir kristalnya lebih besar dibandingkan dengan gambar 8 *holding time* 60 menit. Gambar 9 *holding time* 90 menit memiliki kerapatan lebih baik dan butir kristalnya lebih besar dibandingkan dengan gambar 10 *holding time* 60 menit. Mengakibatkan spesimen pada proses perlakuan panas 200°C *holding time* 30 menit memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dari *holding time* 90 menit, 60 menit, dan 120 menit.

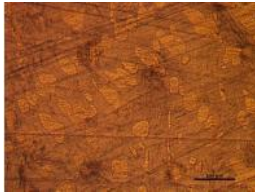
2. Temperatur 300°C



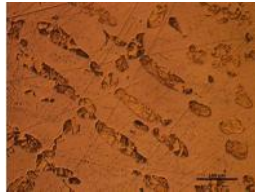
Gambar 11. Temperatur 300°C holding time 30 menit



Gambar 12 Temperatur 300°C holding time 60 menit



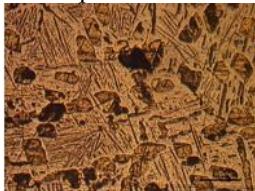
Gambar 13. Temperatur 300°C holding time 90 menit



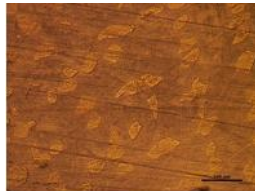
Gambar 14. Temperatur 300°C holding time 120 menit

Struktur mikro terlihat pada gambar 11 dengan perlakuan panas 300°C *holding time* 30 menit memiliki kerapatan lebih baik dan butir kristalnya lebih kecil namun tampak rapi dibandingkan dengan gambar 12 *holding time* 60 menit. Gambar 13 *holding time* 90 menit memiliki kerapatan lebih baik dan butir kristalnya lebih besar dibandingkan dengan gambar 14. *holding time* 60 menit butir kristalnya lebih panjang. Mengakibatkan spesimen pada proses perlakuan panas 300°C *holding time* 90 menit memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dari *holding time* 120 menit, 30 menit, dan 60 menit.

3. Temperatur 400°C



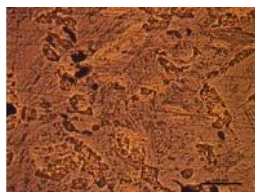
Gambar 15. Temperatur 400°C holding time 30 menit



Gambar 16. Temperatur 400°C holding time 60 menit



Gambar 17. Temperatur 400°C holding time 90 menit

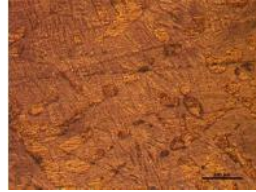


Gambar 18. Temperatur 400°C holding time 120 menit

Struktur mikro terlihat pada gambar 15 dengan perlakuan panas 400°C *holding time* 30 menit memiliki kerapatan kurang baik dan butir kristalnya lebih besar dibandingkan dengan gambar 16 *holding time* 60 menit memiliki kerapatan lebih baik dan butir kristalnya kecil nampak rapi. Gambar 17. *holding time* 90 menit memiliki kerapatan lebih baik dan butir kristalnya lebih besar dibandingkan dengan gambar 18 *holding time* 60 menit butir kristalnya lebih panjang. Mengakibatkan spesimen pada proses

perlakuan panas 400°C *holding time* 90 menit memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dari *holding time* 120 menit, 60 menit, dan 30 menit.

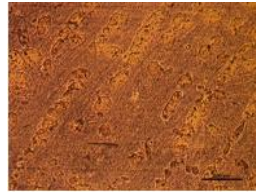
4. Temperatur 500°C



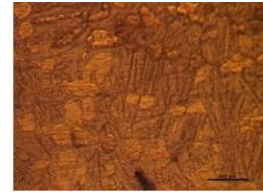
Gambar 19. Temperatur 500°C holding time 30 menit



Gambar 20. Temperatur 500°C holding time 60 menit



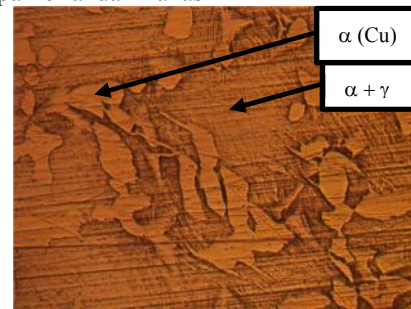
Gambar 21. Temperatur 500°C holding time 90 menit



Gambar 22. Temperatur 500°C holding time 120 menit

Struktur mikro terlihat pada gambar 19 dengan perlakuan panas 500°C *holding time* 30 menit memiliki kerapatan kurang baik dan butir kristalnya lebih kecil dibandingkan dengan gambar 20 *holding time* 60 menit memiliki kerapatan lebih baik dan butir kristalnya lebih besar. Gambar 21 *holding time* 90 menit memiliki kerapatan lebih baik dan butir kristalnya lebih panjang dibandingkan dengan gambar 22 *holding time* 60 menit butir kristalnya lebih besar. Mengakibatkan spesimen pada proses perlakuan panas 500°C *holding time* 90 menit memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dari *holding time* 60 menit, 30 menit, dan 120 menit.

5. Tanpa Perlakuan Panas



Gambar 23 Struktur mikro bilah tanpa perlakuan

Pada pengamatan struktur mikro terlihat bentuk struktur mikro dari material perunggu didapat fasa α (Cu) yang dikelilingi fasa $\alpha + \gamma$ yang dimana fasa γ (gamma) memiliki sifat lunak sehingga semakin luasnya daerah antar batas butir yang mengelilingi inti maka akan terjadi penurunan nilai kekerasan (HVN) pada gamelan Bali. Struktur mikro terlihat pada gambar 23 terlihat sangat jelas bilah tanpa perlakuan kerapatan kurang baik dan butiran-butiran kristalnya nampak besar namun panjang.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pengaruh perlakuan panas (*heat treatment*) terhadap kekerasan dan struktur mikro perunggu bahan gamelan Bali dengan presentase paduan tembaga (Cu) 80% dan timah putih (Sn) 20%. Perlakuan pada temperatur 200°C, 300°C, 400°C, dan 500°C dan *holding time* 30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit. Diuji dengan 2 phase pengujian yang diantaranya pengujian kekerasan vikers dan struktur mikro didapat data-data seperti yang tercantum dalam bab IV sehingga dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dalam pengujian kekerasan vikers spesimen dengan perlakuan panas 200°C 300°C, 400°C, 500°C dan spesimen yang tanpa perlakuan. Hasil perhitungan kekerasan (HVN) diketahui rata-rata spesimen dengan perlakuan panas 300°C nilai HVN tertinggi sebesar 303,64 kg/mm² lebih besar dari temperatur 400°C nilai HVN tertinggi sebesar 269,92 kg/mm², sedangkan 200°C nilai HVN tertinggi sebesar 262,17 kg/mm², dan 500°C nilai HVN tertinggi sebesar 246,32 kg/mm² dibandingkan dengan spesimen yang tanpa perlakuan sebesar 228,63 kg/mm². Jadi kekerasan material dengan perlakuan panas 300°C lebih baik dari spesimen 400°C, 200°C, 500°C, dan yang tanpa perlakuan. Sehingga hal tersebut akan berpengaruh pada meningkatnya kualitas produk perunggu.
2. Pada pengamatan struktur mikro dapat disimpulkan semakin besar butiran -butiran kristal terbentuk dan kerapatan nampak rapi maka nilai kekerasan (HVN) semakin meningkat.

Daftar Pustaka

- [1] Alves, Bill, 1997, *Pleng: Menulis untuk Gender Adil Tuned Barung*, Jurnal Hanya Intonasi Jaringan 1, pp. 4-11.
- [2] Withers dan Bhadesi, 2001, *Residual Stress Part 1 - Measurement Techniques*, Materials Science and Technology.
- [3] Surdia, T. dan Chijjiwa, K., 1986, *Teknik Pengecoran Logam*, edisi ketujuh, Pradnya Paramita, Jakarta.

	<p>I Putu agus Kisma Jaya menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana pada Program Studi Teknik Mesin, pada tahun 2019</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan Peunggu Bahan Gamelan Bali</p>	

Pemanfaatan Limbah Kotoran Gajah dan *Grease* dari Pengolahan Lumpur Tinja (PLT) Suwung Menjadi Biogas

I Gede Indra wiguna, Tjokorda Gde Tirta Nindhia, I Wayan Surata
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Berbagai penelitian terus dilaksanakan untuk mendapatkan sumber energi terbarukan yang terjangkau dan memiliki dampak positif untuk lingkungan. Biogas merupakan energi baru terbarukan dengan proses fermentasi bahan-bahan limbah organik, seperti kotoran ternak, sampah organik, serta bahan-bahan lainnya oleh bakteri metanogenik dalam kondisi anaerob (tanpa oksigen). Penelitian ini terdiri dari dua bagian, bagian pertama yaitu menggunakan kotoran gajah secara langsung di campur dengan limbah *grease* dan air yang terdiri dari empat variasi yaitu : variasi ke-1 50% Air, 50% Kotoran Gajah, variasi ke-2 50% Air, 25% *Grease*, 25% Kotoran Gajah, variasi ke-3 50% Air, 35% *Grease*, 15% Kotoran Gajah, variasi ke-4 50% Air, 50% *Grease*. Sedangkan bagian kedua yaitu menggunakan air cucian kotoran gajah dicampur dengan *grease* yang terdiri dari empat variasi yaitu : variasi ke-1 100% Air Cucian Kotoran Gajah, variasi ke-2 75% Air cucian Kotoran Gajah, 25% *Grease*, variasi ke-3 25% Air Cucian Kotoran Gajah, 75% *Grease*, variasi ke-4 100% *Grease*. Hasil penelitian selama 101 hari mendapatkan hasil peningkatan gas tertinggi untuk hasil pertama adalah variasi campuran *grease* 35%, kotoran gajah 15% dan air 50%, mendapatkan komposisi metana tertinggi sebanyak 639.718 cm³. Sedangkan hasil peningkatan gas tertinggi untuk bagian kedua adalah variasi campuran *grease* 75% dan air cucian kotoran gajah 25%, mendapatkan komposisi metana tertinggi sebanyak 282.139 cm³. Sedangkan kandungan gas metana terbaik pada bagian pertama adalah *grease* 35%, kotoran gajah 15% dan air 50% mendapatkan hasil kandungan gas CH₄ : 73%, CO₂ : 1%, H₂S : 0ppm. Sedangkan kandungan gas metana terbaik pada bagian kedua adalah *grease* 75% dan air cucian kotoran gajah 25% mendapatkan peningkatan CH₄ : 56%, CO₂ : 0%, H₂S : 0ppm.

Kata kunci: Biogas, *grease*, Kotoran Gajah, Air Kotoran Gajah.

Abstract

Various studies continue to be carried out to obtain renewable energy sources that are affordable and have a positive impact on the environment. Biogas is new renewable energy by the fermentation process of organic waste materials, such as livestock manure, organic waste, and other materials by methanogenic bacteria in anaerobic (without oxygen) conditions. This research consists of two parts, the first part is using elephant dung directly mixed with *grease* and water waste which consists of four variations, namely: 1st variation 50% Water, 50% Elephant Dung, 2nd variation 50% Water, 25% *Grease*, 25% Elephant Manure, 3rd variation 50% Water, 35% *Grease*, 15% Elephant Manure, 4th variation 50% Water, 50% *Grease*. While the second part is using elephant dung washing water mixed with *grease* consisting of four variations, namely: 1st variation 100% Elephant Manure Wash Water, 2nd variation 75% Elephant Manure Wash water, 25% *Grease*, 3rd variation 25 % Elephant Poop Wash Water, 75% *Grease*, 4th variation 100% *Grease*. The results of the study for 101 days to get the highest gas elevation results for the first result is a mixture of 35% *grease* mixture, 15% elephant dung and 50% water, get the highest methane composition as much as 639.718 cm³. While the results of the highest increase in gas for the second part is a variation of a mixture of 75% *grease* and 25% elephant dung washing water, getting the highest methane composition of 282.139 cm³. While the best methane gas content in the first part is 35% *grease*, 15% elephant dung and 50% water get the results of CH₄: 73%, CO₂: 1%, H₂S: 0ppm gas content. While the best methane gas content in the second part is 75% *grease* and elephant dung washing water 25% get an in

Keywords: Biogas, *Grease*, Elephant Manure, Elephant Manure Water.

1. Pendahuluan

Grease merupakan salah satu jenis lumpur tinja. Kotoran gajah dan air tawar juga digunakan sebagai campuran untuk bahan baku biogas [1]. Kotoran gajah mempunyai C/N *ratio* sebesar 40%. Produksi gas metan sangat tergantung oleh rasio C/N dari substrat [2]. *Grease* juga digunakan sebagai bahan baku campuran biogas dalam penelitian ini. Air tawar digunakan sebagai bahan campuran di dalam penelitian ini. Air tawar adalah air yang memiliki kandungan klorida <1.000 mg/l [3]. Bahan baku akan

dicampur sesuai dengan variasi campuran bahan baku biogas .

Berdasarkan latar belakang di atas, akan dilakukan penelitian pembuatan biogas dengan variasi campuran bahan baku *Grease*, kotoran gajah dan air tawar. Setelah dilaksanakan penelitian maka akan dianalisis variasi campuran yang menghasilkan volume tertinggi untuk mendapatkan biogas yang digunakan untuk energi alternatif terbarukan.

2. Metode Penelitian

2.1. Variasi Campuran Bahan Baku Biogas

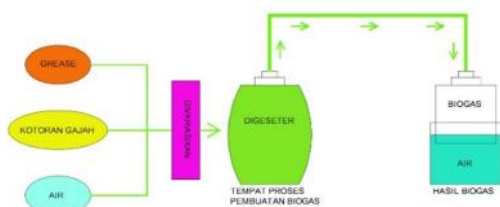
Variasi campuran bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini, ditunjukkan pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Variasi Campuran Bahan Baku Biogas

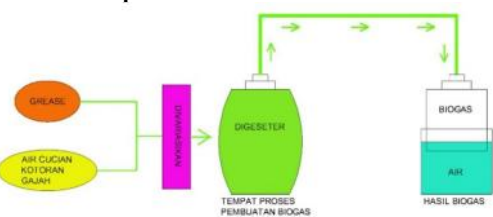
Komposisi A	Variasi (Volume)			
	I (%)	II (%)	III (%)	IV (%)
Grease	0	25	35	50
Kotoran Gajah	50	25	15	0
Air	50	50	50	50
Komposisi B	Variasi (Volume)			
	I (%)	II (%)	III (%)	IV (%)
Grease	0	25	75	100
Air Kotoran Gajah	100	75	25	0
Air	0	0	0	0

2.2 Instalasi Alat Penelitian

Penelitian ini menggunakan rangkaian atau instalasi yang ditunjukkan pada gambar berikut, pertama-tama masukkan campuran variasi bahan baku ke dalam jerigen sesuai dengan takaran pada Tabel 1. Toples yang berukuran 16 liter dan 10 liter diisi air hingga penuh, kemudian toples berukuran 10 liter diletakkan di dalam toples 16 liter. Langkah selanjutnya jerigen yang sudah diisi campuran variasi bahan baku biogas sesuai Tabel 1 disambungkan ke dalam toples 10 liter dengan selang bening.



Gambar 1. Rangkaian Instalasi Pembuatan Biogas Komposisi A



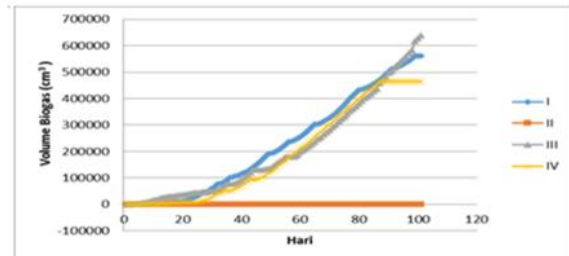
Gambar 2. Rangkaian Instalasi Pembuatan Biogas Komposisi B

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Data Pengujian Biogas Komposisi A

Pada Gambar 3 menunjukkan peningkatan volume masing-masing komposisi campuran antara limbah *grease*, kotoran gajah dan air. Dilihat pada komposisi I, peningkatan yang terjadi pada hari ke-21 hingga hari ke-101, total mendapatkan hasil gas sebanyak 561.262 cm³. Dilihat pada komposisi II,

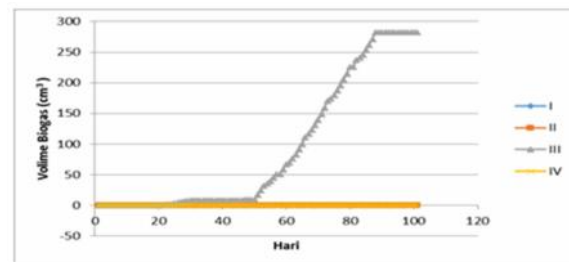
tidak ada pada hari ke-1 sampai hari ke-101. Dilihat pada komposisi III, peningkatan yang sangat pesat terjadi pada hari ke-5 hingga hari ke-101, total mendapatkan hasil gas sebanyak 639.718 cm³. Dilihat pada komposisi IV, peningkatan yang terjadi pada hari ke-25 hingga hari ke-101, total mendapatkan hasil gas sebanyak 464.701 cm³



Gambar 3. Grafik Komposisi Campuran Komposisi A (Limbah Grease, Kotoran Gajah Dan Air)

Dilihat dari Gambar 4.1, rata-rata pada setiap variasi campuran di hari ke-9 sampai hari ke-25 baru terjadi proses metanogenesis, karena pada hari ke-1 sampai hari ke-9 proses hidrolisis dan pengasaman (asidifikasi) sudah berjalan dengan baik sehingga bakteri metanogen baru dapat membentuk gas metan.

3.2. Data Pengujian Biogas Komposisi 2



Gambar 4 Grafik Komposisi Campuran Komposisi B (Limbah Grease, Air Cuci Kotoran Gajah)

Pada Gambar 4 menunjukkan peningkatan volume masing-masing komposisi campuran antara limbah *grease*, air cucian kotoran gajah.

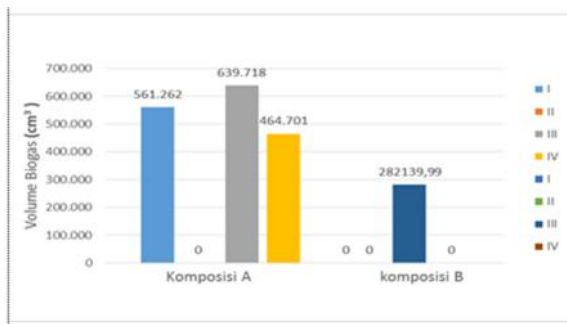
Pada komposisi I belum adanya peningkatan dihari ke-1 sampai hari ke-101. Pada komposisi II belum adanya peningkatan dihari ke-1 sampai hari ke-101. Pada komposisi III mengalami peningkatan pada hari ke-21 sampai hari ke-101. Dengan mendapatkan hasil peningkatan volume biogas sebanyak 282.139 cm³. Pada komposisi IV belum adanya peningkatan dihari ke-1 sampai hari ke-101.

Dilihat dari Gambar 4, rata-rata pada setiap variasi campuran di hari ke-21 sampai hari ke-51 baru terjadi proses metanogenesis, karena pada hari ke-1 sampai hari ke-21 proses hidrolisis dan pengasaman (asidifikasi) sudah berjalan dengan baik sehingga bakteri metanogen baru dapat membentuk gas metan.

Tabel 2. Rangkuman Peningkatan Volume Gas (cm³) dan Komposisi Gas Pada Setiap Campuran.

variasi campuran	No	Komposisi campuran	Volume gas (cm ³)	Komposisi gas		
				CH ₄ (%)	CO ₂ (%)	H ₂ S ppm
A	1	I	561.262	60	1	0
	2	II	0	0	0	0
	3	III	639.718	73	1	0
	4	IV	464.701	75	1	0
B	1	I	0	0	0	0
	2	II	0	0	0	0
	3	III	282.139	56	0	0
	4	IV	0	0	0	0

Dapat dibandingkan dari ke dua table diatas, untuk variasi campuran A komposisi ke IV mendapatkan hasil komposisi gas terbaik CH₄:75%, CO₂:1%, H₂S:0ppm. Sedangkan dari variasi campuran B dengan komposisi ke III mendapatkan komposisi gas terbaik CH₄:56%, CO₂:0%, dan H₂S:0ppm.



Gambar 5. Grafik Rangkuman Peningkatan Volume Gas (cm³)

Ditunjukan kolompok komposisi A voluma gas yang dihasilkan sangat baik, yang tertinggi dicapai pada campuran 35% Grease + 15% Kotoran Gajah + 50% Air Tawar dengan mendapatkan volume biogas sebesar 639.718 cm³.

Pada komposisi B voluma gas yang dihasilkan sangat baik, pada campuran 75% Grease + 25% Air Cucian Kotoran Gajah dengan mendapatkan volume biogas sebesar 282.139 cm³, dan itu pun masih kecil dari komposisi A.

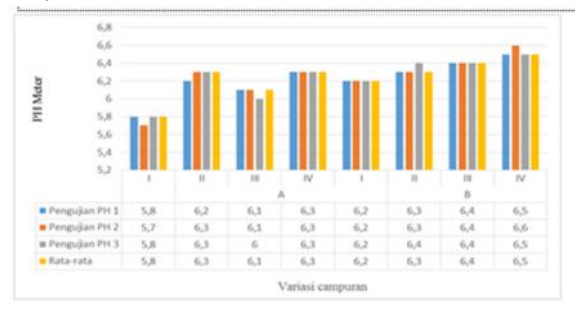
Tabel 3. Pengambilan Data PH Meter

Variasi Campuran	Komposisi campuran	Pengujian PH 1	Pengujian PH 2	Pengujian PH 3	Rata-rata
A	I	5,8	5,7	5,8	5,8
	II	6,2	6,3	6,3	6,3
	III	6,1	6,1	6	6,1
	IV	6,3	6,3	6,3	6,3
B	I	6,2	6,2	6,2	6,2
	II	6,3	6,3	6,4	6,3
	III	6,4	6,4	6,4	6,4
	IV	6,5	6,6	6,5	6,5

Dapat dilihat dari ke dua tabel diatas, Diliat pada variasi campuran A pada komposisi campuran I pada pengujian ke-1 mendapatkan 5,8 PH, pengujian ke-2 mendapatkan 5,7 PH, pengujian ke-3 mendapatkan 5,8 PH, dan mendapatkan rata-rata 5,8 PH. Pada komposisi II pada pengujian 1 mendapatkan 6,2 PH, pengujian ke-2 mendapatkan 6,3 PH, pengujian ke-3 mendapatkan 6,3 PH, dan

mendapatkan rata-rata 6,3 PH. Pada komposisi III pada pengujian 1 mendapatkan 6,1 PH, pengujian ke-2 mendapatkan 6,1 PH, pengujian ke-3 mendapatkan 6 PH, dan mendapatkan rata-rata 6,1 PH. Pada komposisi IV pada pengujian 1 mendapatkan 6,3 PH, pengujian ke-2 mendapatkan 6,3 PH, pengujian ke-3 mendapatkan 6,3 PH, dan mendapatkan rata-rata 6,3 PH.

Dapat dilihat dari ke dua tabel diatas, dilihat pada variasi campuran B pada komposisi campuran I pada pengujian ke-1 mendapatkan 6,2 PH, pengujian ke-2 mendapatkan 6,2 PH, pengujian ke-3 mendapatkan 6,2 PH, dan mendapatkan rata-rata 6,2 PH. Pada komposisi II pada pengujian 1 mendapatkan 6,3 PH, pengujian ke-2 mendapatkan 6,3 PH, pengujian ke-3 mendapatkan 6,4 PH, dan mendapatkan rata-rata 6,3 PH. Pada komposisi III pada pengujian 1 mendapatkan 6,4 PH, pengujian ke-2 mendapatkan 6,4 PH, pengujian ke-3 mendapatkan 6,4 PH, dan mendapatkan rata-rata 6,4 PH. Pada komposisi IV pada pengujian 1 mendapatkan 6,5PH, pengujian ke-2 mendapatkan 6,6 PH, pengujian ke-3 mendapatkan 6,5 PH, dan mendapatkan rata-rata 6,5 PH.



Gambar 6. Pengambilan Data PH Meter

Ditunjukan kolompok komposisi A mendapatkan rata-rata PH Meter yang tertinggi pada komposisi campuran ke-IV.

Pada komposisi B mendapatkan rata-rata PH Meter yang tertinggi pada komposisi campuran ke-IV.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan selama 101 hari dapat disimpulkan bahwa: 1) Berdasarkan variasi campura grease, kotoran gajah dan air menghasilkan volume biogas tertinggi terjadi pada campuran 35% Grease, 15% Kotoran Gajah, 50% Air Tawar dengan volume biogas sebanyak 639.718 cm³. 2) Komposisi biogas terbaik terjadi pada campuran 50% Grease, 50% Air dimana memperoleh CH₄: 75%, CO₂: 1%, H₂S: 0ppm.

Daftar Pustaka

- [1] Desy, R. L, Gogh,Y., 2003, *Pengolahan Lumpur Tinja Pada Sludge Drying Bed IPLT Keputihan Menjadi Bahan Bakar Alternatif Dengan Metode Biodrying*, Jurnal Teknik Pomits Vol. 2. No,2 pp. 2301-9271.

- [2] Devita Sari, 2008, *Percobaan Produksi Biogas dari Kotoran Gajah Dengan Variasi Penambahan Urin Sapi*, Prosiding Seminar Nasional Lingkungan Lahan Basah, Vol.3, pp. 444-448.
- [3] Windyasmara, L., Ambar P., Lies M. Y., 2012, *Pengaruh Jenis Kotoran Ternak Sebagai Sustract Dengan Penambahan Serasah Daun Jati (Tectona grandis) Terhadap Karakteristik Biogas Pada Proses Fermentasi*, Buletin Peternakan, Vol. 36, No.1, pp. 40-47.



I Gede Indra Wiguna lahir di Denpasar, Bali pada tanggal 08 maret 1996. Merupakan mahasiswa lulusan S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana Angkatan 2015 dan telah menyelesaikan studi di Universitas Udayana pada tahun 2019.

Study Eksperimental Penggunaan Dry Ice Untuk Konfigurasi Staggered Dengan Massa Pengisian Tube 100% Terhadap Performansi Dew Point Cooling System

Komang Mas Gelgel, Hendra Wijaksana, dan I N. Suarnadwipa
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Globalisasi memungkinkan semua berkembang begitu cepat dan membawa dampak yang begitu cepat bagi kelangsungan hidup manusia. Salah satu dampak yang ditimbulkan yaitu pemanasan global. Bali merupakan tujuan pariwisata dunia, dimana investor dan pengusaha berlomba-lomba membangun fasilitas-fasilitas penunjang bagi wisatawan yang tentunya dilengkapi dengan mesin pengkondisian udara. Penggunaan mesin pengkondisian udara ini akan menambah pemanasan global. Dengan permasalahan di atas dibutuhkan mesin pengkondisian udara yang hemat energi dan ramah lingkungan yaitu dew point evaporative cooling. Dew point evaporative cooling merupakan proses pendinginan dengan mengontakkan langsung udara pada media pad. Penelitian ini menggunakan pad konfigurasi staggered dengan jumlah 32 batang yang berisikan dry ice. Dry ice dimasukkan ke dalam pad dengan panjang pipa 400 mm dengan massa pengisian dry ice 100%. Pengujian dilakukan untuk mengetahui performa dew point cooling sistem, yang meliputi penurunan bola kering udara, efektifitas pendinginan, kapasitas pendinginan, pressure drop dan EER. Variabel yang diukur pada penelitian ini adalah variasi kecepatan aliran udara dengan $V_1 = 4,8$ m/s, $V_2 = 9,5$ m/s, dan $V_3 = 11,3$ m/s. Dari penelitian ini didapat penurunan temperatur bola kering (ΔT_{dB}) lebih signifikan terjadi pada kecepatan aliran udara rendah 4,8 m/s dengan selisih penurunan temperatur udara masuk Tin dan Tout sebesar 6,09 oC. Sedangkan pada kecepatan aliran udara tinggi 11,3 m/s terjadi penurunan temperatur udara masuk Tin dan Tout sebesar 3,65 oC dengan proses pendinginan dan dehumidifikasi.

Kata kunci: evaporative cooling, dew point, temperatur

Abstract

Globalization allows all to evolve so rapidly and bring such a fast impact as well for human survival. One of the impacts is global warming. Bali is a tourism destination of the world, where investors and entrepreneurs are competing to build supporting facilities for tourists who are certainly in the air conditioning machine. Use of this air conditioning machine will add to global warming. With the above problems needed an energy-efficient and environmentally-friendly air conditioning machine is dew point evaporative cooling. Dew Point Evaporative Cooling is a process of cooling by directly contacting the air on the media pad. The study used a staggered configuration pad with a total of 32 rods containing dry ice. Dry ice is inserted into the pad with a pipe length of 400 mm with a mass charging dry ice 100%. The test was done to find out the performance dew point cooling system, which includes a decrease in air dry balls, the effectiveness of cooling, cooling capacity, pressure drop and EER. The variables measured in this study were variations in air flow velocity with $V_1 = 4.8$ m/s, $V_2 = 9.5$ m/s, and $V_3 = 11.3$ m/s. From this study gained a decrease in dry ball temperature (ΔT_{dB}) significantly occurred at low air flow speeds of 4.8 m/s with a decrease in the air temperature drop in Tin and Tout of 6.09 oC. While at high airflow speed of 11.3 m/s occurred decrease in air temperature in Tin and Tout of 3.65 oC with cooling process and dehumidification.

Keywords: evaporative cooling, dew point, temperature

1. Pendahuluan

Globalisasi merupakan koneksi global ekonomi, sosial, budaya dan politik yang semakin mengarah ke berbagai arah ke seluruh penjuru dunia dan masuk ke dalam kesadaran kita [1]. Pada umumnya, dampak globalisasi telah mempengaruhi berbagai aspek kehidupan dan tingkah laku manusia, mulai dari pola hidup dan perekonomian yang menginginkan sesuatu yang serba instan.

Lingkungan alam dan iklim sangat berpengaruh terhadap wilayah sebagai daerah kunjungan wisata. Salah satu tujuan pariwisata dunia adalah pulau Bali. Dengan meningkatnya kunjungan wisatawan yang datang ke Bali, banyak investor dan pengusaha membuat fasilitas-fasilitas hotel, villa, penginapan, dan mall. Fasilitas-fasilitas ini tentunya dilengkapi

dengan pendingin udara atau air conditioning. Penggunaan air conditioning ini menyebabkan pemanasan global semakin tinggi. Efek lain dari penggunaan mesin ini menyebabkan konsumsi energi yang tinggi sehingga tidak bekerja maksimal pada suhu yang panas. Evaporative cooling merupakan proses pengkondisian udara yang menggunakan penguapan air untuk mendinginkan aliran udara secara langsung maupun tidak langsung sehingga temperatur dry-bulb maupun temperatur akhir wet-bulb menjadi lebih rendah.

Berdasarkan permasalahan diatas, bagaimanakah pengaruh penggunaan dry ice untuk konfigurasi staggered dengan massa pengisian tube 100% terhadap performansi dew point cooling system.

Dengan batasan pengujian dilakukan di dalam ruangan dan udara lingkungan konstan.

2. Dasar Teori

Dew point evaporative cooler adalah proses pendinginan dengan prinsip *evaporative cooling*. Dimana dalam proses ini udara langsung dikontakkan dengan media pad yang dingin sehingga terjadi perubahan dari panas.

Penggunaan dry ice sebagai bahan pengisi pad mempunyai sifat penguapan sangat baik dan mempunyai suhu yang sangat dingin yaitu : $-78,5^{\circ}\text{C}$ atau $-109,3^{\circ}\text{K}$, seperti pada gambar 1.



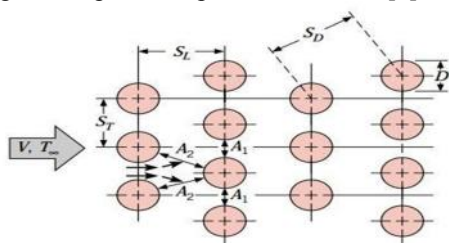
Gambar 1. Karbon Dioksida Padat (*Dry Ice*)

Suhu udara nyaman menurut standar tata cara perancangan pada gedung yang diterbitkan oleh yayasan LPMB-PU membagi suhu nyaman untuk orang Indonesia atas tiga bagian sebagai berikut :

Tabel 1. Suhu Nyaman Menurut Standar Tata Cara Perancangan pada Gedung

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

Kemampuan melepas panas atau menerima panas suatu alat penukar kalor dipengaruhi oleh besarnya luas permukaan (*heating surface*). Besarnya luas permukaan itu tergantung dari panjang, ukuran dan jumlah tubes yang dipergunakan pada alat penukar kalor itu [2].



Gambar 2. Salah satu tipe susunan tube alat penukar kalor.

Koefisien untuk baris pertama kira-kira sma dengan tabung tunggal dalam aliran silang, sedangkan koefisien perpindahan panas yang lebih besar dikaitkan dengan tabung dari baris dalam. Tabung dari baris pertama bertindak sebagai grid turbulensi, yang meningkatkan koefisien perpindahan panas untuk tabung di baris berikutnya[3].

Untuk mengetahui koefisien perpindahan panas rata-rata untuk seluruh tabung.

$$Nu_D = C_1 Re_{D,max} \left[\begin{array}{l} NL \geq 10 \\ 2000 < Re_{D,max} < 40.000 \\ Pr = 0,7 \end{array} \right] \quad (1)$$

$$Re_{D,max} = \frac{\rho V_{max} D}{\mu} \quad (2)$$

Bilangan reynolds maks di dapat berdasarkan kecepatan fluida maksimum yang terjadi dalam tube.

$$V_{max} = \frac{S_T}{S_T - D} V \quad (3)$$

Ketika fluida bergerak melalui tube, laju perpindahan panas bisa secara signifikan diprediksi dengan menggunakan $\Delta T = T_s - T_{\infty}$ sebagai perbedaan suhu dalam hukum newton.

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_s - T_i) - (T_s - T_o)}{\ln(T_s - T_i) / (T_s - T_o)} \quad (4)$$

Dimana T_i dan T_o adalah suhu fluida saat memasuki dan meninggalkan tabung. Suhu luar yang diperlukan untuk menentukan ΔT_{lm} dapat diperoleh dari :

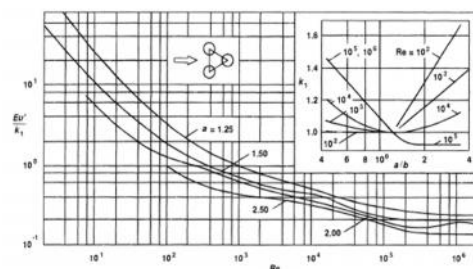
$$\frac{T_s - T_o}{T_s - T_i} = \exp\left(-\frac{\pi D N h}{\rho V N_T S_T c_p}\right) \quad (5)$$

Dimana N merupakan jumlah total tabung dan N_T adalah jumlah tabung dibidang transversal. Setelah ΔT_{lm} diketahui, laju perpindahan per satuan panjang tabung dapat dihitung.

$$q' = N(h\pi D \Delta T_{lm}) \quad (6)$$

Daya yang diperlukan untuk memindahkan fluida melalui tube sering kali berbanding lurus dengan penurunan tekanan.

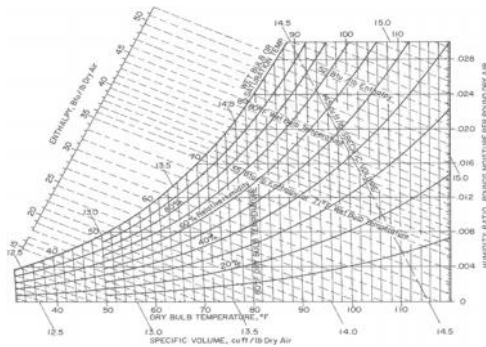
$$\Delta p = N_L X \left(\frac{\rho V^2_{max}}{2} \right) f \quad (7)$$



Gambar 3. Faktor gesekan f dan faktor koreksi x susunan staggered.

Adapun sifat-sifat udara basah diantaranya: Temperatur Bola Kering (*Dry Bulb Temperature*) (T_{dB}), Temperatur Bola Basah (*Wet Bulb Temperature*) (T_{wB}), Kelembaban Spesifik (*Spesifik Humidity*) (w), Kelembaban Relatif (*Relative Humidity*) (RH), Temperatur Dew - Point (T_d), Volume Spesifik (v) dan, Entalpi Udara.

Untuk mengetahui sifat-sifat udara diatas bisa menggunakan diagram yaitu dengan menggunakan *psychrometric chart* [4].



Gambar 4. Psychrometric Chart

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 [5].

$$\Delta T_{dB} = T_{dB,i} - T_{dB,o} \quad (8)$$

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. (Harris, 1991)

$$\epsilon = \frac{T_{dB,i} - T_{dB,o}}{T_{dB,i} - T_{WB,i}} \quad (9)$$

dimana,

$T_{dB,i}$ = temperatur bola kering udara yang memasuki sistem ($^{\circ}\text{C}$).

$T_{dB,o}$ = temperatur bola kering udara yang keluar sistem ($^{\circ}\text{C}$).

$T_{WB,i}$ = temperatur bola basah udara yang memasuki sistem ($^{\circ}\text{C}$).

Kapasitas pendinginan ruangan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$q_s = \dot{m} C_p (T_{dB,i} - T_{dB,o}) \quad (10)$$

Energy efficiency ratio (EER) merupakan hasil bagi antara kapasitas pendinginan sensibel dengan jumlah konsumsi energi pendinginan [6].

$$EER = \frac{\dot{m} C_p (T_{dB,i} - T_{dB,o})}{P_t} \quad (11)$$

dimana,

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

C_p = panas spesifik udara (kJ/kg.K)

P_t = konsumsi energi pendinginan (kW)

3. Metode Penelitian

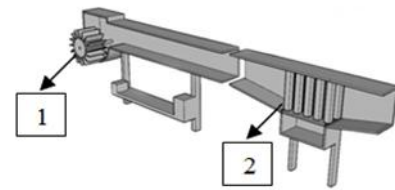
Kecepatan aliran udara divariasikan menjadi 3 yaitu :

$$V_1 = 4,8 \text{ m/s,}$$

$$V_2 = 9,5 \text{ m/s,}$$

$$V_3 = 11,3 \text{ m/s}$$

Pada gambar 5 dibawah ini merupakan desain alat dari pengujian.

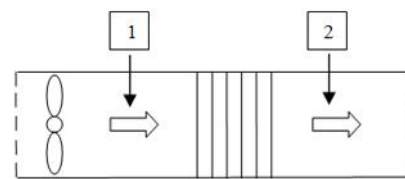


Keterangan Gambar:

1. Fan.
2. Solid Dry Pad

Gambar 5. Desain Dew Point Cooling Pad

Pada gambar 6 seperti dibawah ini, menunjukkan gambar skematik dari pengujian.

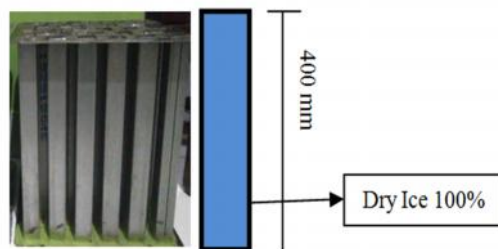


Keterangan gambar :

1. Temperatur udara masuk pads.
2. Temperatur udara keluar pads.

Gambar 6. Model Skematik Pengujian

Berikutnya pada gambar 7 yang merupakan solid dry pad pada pengujian.



Gambar 7. Solid Dry Pad dengan massa Pengisian 100%

4. Hasil dan Pembahasan

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan maka, didapatkan data distribusi temperatur pada setiap kecepatan aliran udara selama 60 menit. Kemudian dimasukkan ke dalam rumus persamaan diatas, sehingga dapat diperoleh hasil yang dibuat dalam grafik seperti pada gambar 8 sampai dengan gambar 16 yang menunjukkan sebuah grafik hasil pengujian.

Dari gambar 8 menunjukkan grafik penurunan temperatur bola kering udara terhadap kecepatan aliran udara yang masing-masing diuji selama 60 menit dimana, terjadi penurunan ΔT_{dB} seiring meningkatnya kecepatan aliran udara yang diberikan.

Pada kecepatan aliran udara 4,8 m/s mengalami penurunan temperature bola kering paling besar, hal ini disebabkan karena proses pendinginan udara pada pad terjadi lebih lama. Namun pada kecepatan aliran udara 9,5 m/s dan 11,3 m/s mengalami penurunan

temperature bola kering yang hamper sama. Ini disebabkan karena pada saat terjadinya pendinginan udara pada pad terjadi lebih singkat.

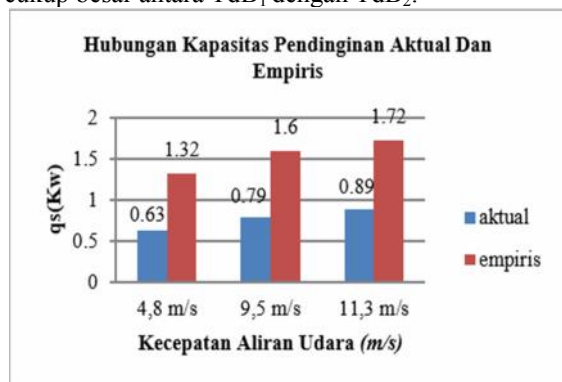


Gambar 8. Grafik Hubungan Antara Selisih Rata-Rata Penurunan Temperatur Terhadap Kecepatan Aliran Udara



Gambar 9. Grafik Efektifitas Pendinginan (ϵ) Terhadap Kecepatan Udara (m/s)

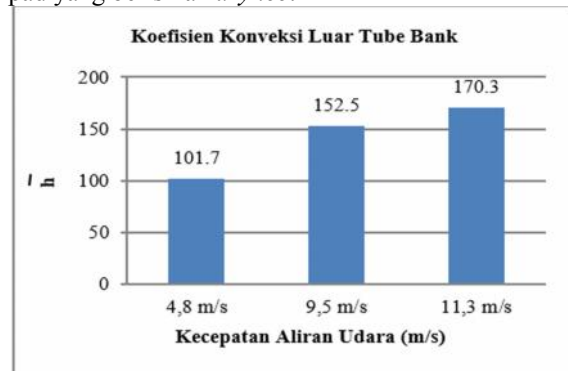
Dari gambar 9 menunjukkan grafik Efektifitas pendinginan (ϵ) terhadap kecepatan aliran udara yang diberikan selama 60 menit. Terjadi penurunan efektifitas pendinginan seiring meningkatnya kecepatan aliran udara yang diberikan. Hal ini dipengaruhi oleh penyerapan sebagian panas udara oleh pad yang sangat dingin sehingga terjadi selisih cukup besar antara T_{dB1} dengan T_{dB2} .



Gambar 10. Grafik Hubungan Kapasitas Pendinginan Aktual dan Empiris Terhadap Kecepatan Aliran Udara (m/s)

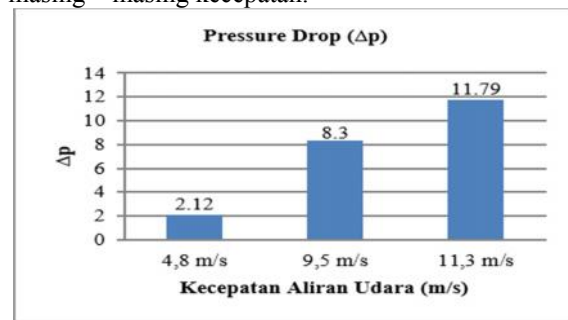
Dari gambar 10 merupakan grafik kapasitas pendinginan aktual dan empiris terhadap kecepatan aliran udara selama 60 menit. Kapasitas pendinginan meningkat seiring dengan kecepatan aliran udara yang digunakan. Hal ini dikarenakan kecepatan

udara yang tinggi akan memperbesar selisih antara T_{dB1} dengan T_{dB2} dimana, penurunan temperatur bola kering udara terjadi lebih besar karena banyaknya udara panas yang mampu digunakan oleh pad yang berisikan *dry ice*.



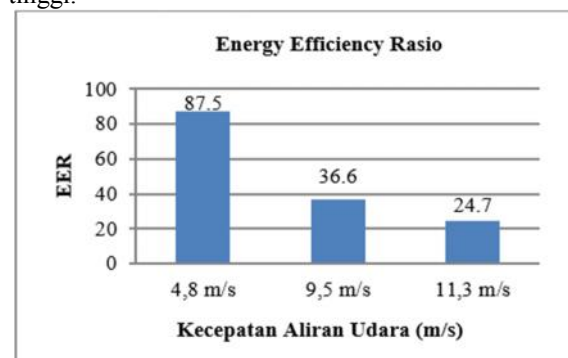
Gambar 11. Grafik Koefisien Konveksi Luar Tube Bank (h) Terhadap Kecepatan Aliran Udara (m/s)

Pada gambar 11 menunjukkan grafik koefisien konveksi luar tube bank terhadap kecepatan aliran udara yang diberikan selama 60 menit dimana, terjadi peningkatan koefisien konveksi seiring meningkatnya kecepatan aliran udara. Hal ini dipengaruhi oleh nilai dari Nusselt number pada masing – masing kecepatan.



Gambar 12. Grafik Pressure Drop (Δp) Terhadap Kecepatan Aliran Udara (m/s)

Pada gambar 12 menunjukkan grafik dari pressure drop terhadap kecepatan aliran udara, semakin tinggi kecepatan aliran udara maka pressure drop yang terjadi juga semakin tinggi. Ini disebabkan karena gaya gesek antara udara dan media pad juga tinggi.

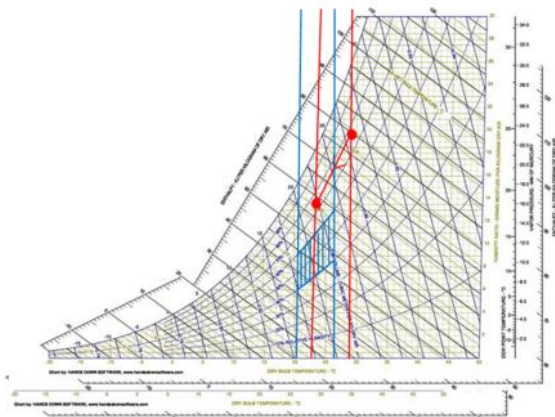


Gambar 13. Grafik Energy Efficiency Rasio Terhadap Kecepatan Aliran Udara (m/s)

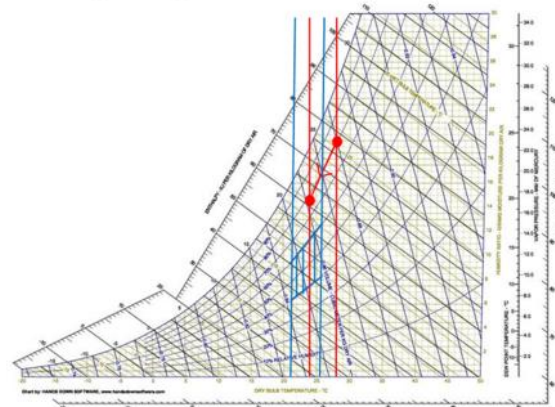
Dari gambar 13 menunjukkan grafik Energy Efficiency Ratio (EER) terhadap kecepatan aliran udara yang diuji selama 60 menit. Pada grafik EER merupakan hasil bagi antara kapasitas pendinginan dengan jumlah konsumsi energi pendinginan yaitu, dengan daya fan yang bervariasi sehingga, memperoleh hasil yang berbeda-beda. Pada penelitian ini apabila semakin tinggi kecepatan aliran udara maka efficiency energy rasionya semakin rendah, dikarenakan sedikitnya panas yang menyerap ke solid dry pad yang berisikan dry ice 100% yang temperaturnya sangat rendah dan dry ice yang cepat menguap dan daya fan yang dibutuhkan lebih besar.

Grafik Psychrometri

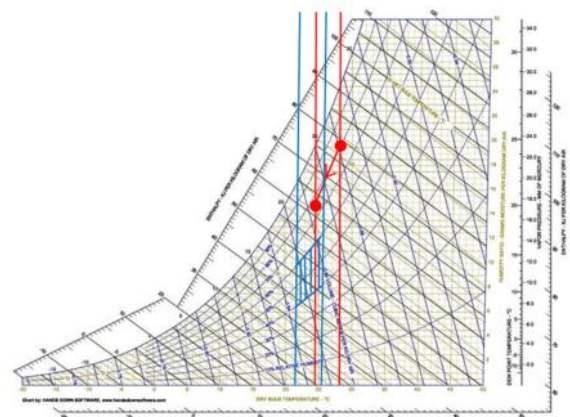
Grafik Psychrometri merupakan grafik untuk mengetahui kajian mengenai sifat-sifat campuran udara dan uap air, dengan mengetahui T_{in} (T1) dan T_{out} (T2) untuk memudahkan mencari titik pada diagram psychrometri chart, seperti pada gambar 14 sampai dengan gambar 16.



Gambar 14. Grafik Psychrometri pada kecepatan udara 4,8 m/s, udara mengalami proses pendinginan dan dehumidifikasi.



Gambar 15. Grafik Psychrometri pada kecepatan udara 9,5 m/s, udara mengalami proses pendinginan dan dehumidifikasi.



Gambar 16. Grafik Psychrometri pada kecepatan udara 11,3 m/s, udara mengalami proses pendinginan dan dehumidifikasi.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai *study experimental penggunaan dry ice untuk konfigurasi staggered dengan massa pengisian 100% terhadap performansi dew point cooling system* dapat disimpulkan beberapa hal antara lain:

1. Selisih penurunan temperatur bola kering (ΔT_{dB}), efektivitas pendinginan, dan EER paling besar terjadi pada kecepatan 4,8 m/s yaitu sebesar 6,09 °C, 2,21, 87,5.
2. Pada kecepatan 11,3 m/s memiliki kapasitas pendinginan, koefisien konveksi, pressure drop paling besar yaitu 0,89 Kw, 170,3 W/m².K, 11,79 x 10⁻³ bars.
3. Dari grafik psychrometric di setiap variasi kecepatan aliran udara mengalami proses pendinginan dan dehumidifikasi.

Daftar Pustaka

- [1] Anton, Barker, 2004, *Alternatif pengembangan Masyarakat Di Era Globalisasi*, Jakarta: Kanisius.
- [2] Sitompul, Tunggul M., 1992, *Alat Penukar Kalor (Heat Exchanger)*. Jakarta: Raja Grafindo Persada.
- [3] Incopera, Frank P dan David P. De Witt, 1990, *Introduction To Heat Transfer Second Edition*.
- [4] I Nyoman Suryana, I Nengah Suarnadwipa, dan Hendra Wijaksana, 2014, *Studi Eksperimental Performansi Pendingin Evaporative Portable Dengan Pad Berbahan Spon Dengan Ketebalan Berbeda*. Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika, 1, 1-6.
- [5] Putra Toni Dwi, dan Finahari Nurida, 2011, *Pengaruh Perubahan Temperatur Media*

Pendingin Pada Direct Evaporative Cooler,
Jurnal Proton, Vol. 3, No 1.

- [6] Effatnejad R, Salehian A.B., 2009, *Standard of Energy Consumption And Energy Labeling In Evaporative Air Cooler in Iran,* Jurnal IJTPE, Volume 1, No 1.



Komang Mas Gelgel telah menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana pada Program Studi Teknik Mesin. Pada tahun 2020

Bidang penelitian yang penulis minati adalah materi yang berkaitan dengan konversi energi dan pengkondisian udara.

Performansi Sistem Pendingin dengan Solid Dry Pad sebagai Pendingin Awal Udara Evaporator dan Kondensor

Dhanang Rakasiwi, Hendra Wijaksana, I N. Suarnadwipa
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Sistem pendingin (AC) semakin banyak di perlukan industri, perhotelan dan perumahan untuk meningkatkan kenyamanan udara ruangan. Terutama di Indonesia yang sebagai negara beriklim tropis memiliki udara berkisar 28° - 35°C . Dengan hal tersebut sistem AC dimodif dengan penambahan Solid Dry Pad yang dimana didalamnya berisikan dry ice. Adapun tujuan dari penelitian ini untuk menganalisa performansi sistem pendingin dengan penggunaan SDP yang tersusun staggered sebagai pendingin awal udara masuk evaporator dan tersusun in-line sebagai pendingin awal kondensor, penulis melakukan sebuah penelitian mengenai pengaruh SDP yang diletakkan pada awal udara masuk evaporator dan kondensor terhadap performansi sistem pendingin. Pada penelitian ini penulis memvariasikan laju aliran massa udara dari parameter – parameter sistem AC dalam hal ini parameter yang diambil yaitu TdB, TwB, konsumsi daya kompresor, kapasitas pendinginan dan COP. Hasil penelitian menunjukkan daya kompresor AC tanpa menggunakan SDP dan dengan penggunaan SDP pada laju aliran massa udara $0,266\text{ kg/s}$ daya kompresor tanpa SDP mendapatkan $0,448\text{ kW}$ dan dengan SDP mendapatkan $0,374\text{ kW}$ dimana dengan SDP lebih rendah 16% dibanding tanpa SDP. Dengan penggunaan SDP pada laju aliran massa udara $0,266\text{ kg/s}$ lebih efektif karena konsumsi daya kompresor yang diperlukan oleh sistem AC lebih rendah daripada tanpa SDP.

Kata Kunci: Sistem Pendingin, Solid Dry Pad, SDP, Es Kering

Abstract

The cooling system (AC) is increasingly in need of industry, hospitality and housing to improve the comfort of air space. Especially in Indonesia which as a tropical country has air ranging from 28° - 35°C . With this the AC system is modified with the addition of a Solid Dry Pad which contains dry ice inside. The purpose of this study is to analyze the performance of the cooling system with the use of SDP arranged staggered as the initial cooling air entering the evaporator and arranged in-line as the initial cooling condenser, the authors conducted a study of the effect of the SDP placed at the beginning of the evaporator and condenser air entrance on the performance cooling system. In this study the authors vary the air mass flow rate of the parameters of the AC system in this case the parameters taken are TdB, TwB, compressor power consumption, cooling capacity and COP. The results showed the AC compressor power without using SDP and with the use of SDP at an air mass flow rate of 0.266 kg / s compressor power without SDP gained 0.448 kW and with SDP gained 0.374 kW where with SDP 16% lower than without SDP. With the use of SDP at an air mass flow rate of 0.266 kg / s is more effective because the compressor power consumption required by the AC system is lower than without SDP.

Keywords: Cooling System, Solid Dry Pad, SDP, Dry Ice

1. Pendahuluan

Sistem air conditioning (AC) semakin diperlukan perhotelan dan perumahan untuk meningkatkan kenyamanan dan suhu udara ruangan. Terutama di Indonesia yang beriklim tropis yang memiliki udara berkisar $28\text{-}35^{\circ}\text{C}$. Pendinginan udara yang sehat merupakan sistem pendinginan yang mampu untuk menurunkan temperature sebuah ruangan dan adanya pertukaran udara segar dalam ruangan tersebut atau dapat didefinisikan sebagai suatu proses pendinginan udara, sehingga mencapai temperatur dan kelembaban yang ideal serta menghasilkan udara segar didalam sistem pendinginan tersebut [1]. Berdasarkan kenyataan tersebut, dalam penelitian ini akan melakukan pengujian terhadap penggunaan Solid Dry Pad (SDP) sebagai pendingin awal udara masuk evaporator dan udara masuk kondensor, untuk dapat mengurangi beban pendinginan pada evaporator dan mengurangi

beban pelepasan panas pada kondensor, dengan demikian diharapkan kerja kompresor juga semakin berkurang. Disamping itu, diharapkan penggunaan SDP ini dapat meningkatkan pencapaian temperature ruang yang lebih daripada tidak menggunakan SDP dan dengan demikian efisiensi energy pada sistem AC dapat dilakukan tanpa mengurangi performansi daripada AC tersebut. Penempatan SDP ini adalah pada sisi udara masuk evaporator yang bersusun staggered dan masuk kondensor yang bersusun in-line.

Solid dry pad ini adalah barisan beberapa pipa persegi yang tersusun secara in-line dan staggered yang kedalamnya dimasukkan es kering yang memiliki suhu kurang lebih -78°C . Jadi SDP ini memanfaatkan energi dingin yang tersimpan pada dry ice, yang mana energi dingin tersebut digunakan untuk memberikan efek pendinginan pada permukaan pipa persegi. Sehingga SDP ini dapat pula dikatakan

sebagai pad penyimpan energi dingin (cold energy storage pad). Dalam hal ini ada beberapa permasalahan penelitian, yaitu:

1. Bagaimana performansi sistem pendingin dengan penggunaan *staggered* SDP pada sisi masuk evaporator dan *in-line* SDP pada sisi masuk kondensor terhadap variasi kecepatan aliran udara ?

Beberapa batasan masalah penelitian yaitu:

1. Waktu pengujian dilakukan selama 1 jam untuk setiap variasi.
2. Temperatur awal kabin diatur pada $T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$.
3. Dinding ruangan kabin yang didinginkan dianggap terisolasi sempurna.
4. Daya *fan* pada *ducting* inlet diabaikan.
5. Kecepatan aliran udara *fan* kondensor di asumsikan konstan.

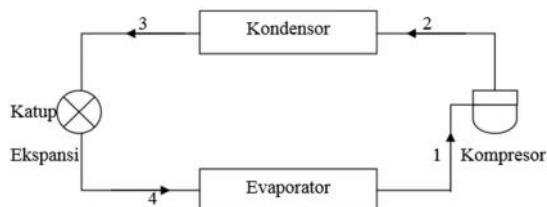
2. Dasar Teori

2.1 Dry ice (Es Kering)

Dry Ice (es kering) adalah karbon dioksida beku. Dry ice amat berguna untuk pembekuan dan menjaga pembekuan karena temperaturnya yang sangat dingin yaitu: -78.5°C atau -109.3°F . Dry Ice banyak digunakan karena pembuatannya cukup sederhana dan mudah ditangani dengan menggunakan sarung tangan insulasi. Dry ice berubah langsung dari bentuk solid menjadi gas-sublimasi dalam kondisi atmosfer normal tanpa melalui tahapan cairan basah. Karenanya dinamakan es kering.

2.2 Prinsip Kerja AC (Air Conditioning)

Cara kerja AC dapat dilihat pada gambar 1. Pada awalnya terjadi perpindahan panas dari dalam ruangan ke luar ruangan. Kompresor yang berfungsi mengalirkan zat pendingin (*refrigerant*) ke dalam pipa tembaga yang berbentuk *coil*. Udara dihembuskan oleh *fan* di sela-sela *coil*, sehingga panas yang ada dalam udara diserap oleh pipa *refrigerant* untuk menguapkan *refrigerant* dalam *coil* (*Evaporator*) dan kemudian mengembun. Udara yang melewati *coil* dan telah diserap panasnya, masuk ke dalam ruangan dalam keadaan dingin. Selanjutnya udara dalam ruang dihisap dan selanjutnya proses penyerapan panas diulang kembali [2].



Gambar 1. Cara Kerja AC [3].

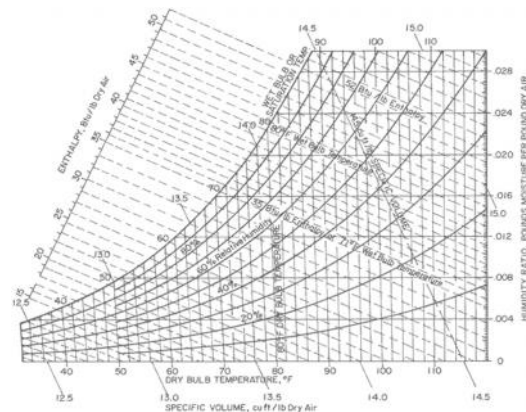
2.3. Psychrometric Chart

Temperatur bola kering (T_{dB}) ditunjukkan oleh garis-garis vertical yang ditarik dari sumbu horizontal diagram. Temperatur bola kering adalah ukuran dari panas *sensibel* dan perubahan dari temperature bola kering menyatakan perubahan dari panas *sensibel*. Temperatur bola basah (T_{wB})

ditunjukkan oleh garis-garis yang ditarik dari garis saturasi kemudian menurun ke arah kanan bawah sehingga membentuk gradient negatif.

Temperatur *dew - point* (DP) ditunjukkan dengan titik-titik yang ada di sepanjang garis saturasi. Kelembaban spesifik (w) dinyatakan dengan skala vertical yang terletak pada batas kanan dari diagram.

Volume spesifik (v) adalah kebalikan dari massa jenis dan dinyatakan dalam volume campuran udara-uap air dalam setiap satu satuan udara kering. Volume spesifik dinyatakan dengan garis yang ditarik mulai dari sumbu dB kemudian miring tajam ke arah kiri atas, membentuk gradient negative [4].



Gambar 2. Psychrometric chart.

2.4. Rumus Perhitungan Pengkondisian Udara

$$Q = V \times A \quad (1)$$

Menghitung konsumsi daya

$$P = V \cdot I \cdot t \text{ dan } P = V \cdot I \cdot \cos \phi \quad (2)$$

Menghitung kapasitas pendinginan

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

$$\text{Menghitung COP} = \frac{Q_{\text{evap}}}{W_{\text{kompressor}}} \quad (4)$$

Dimana :

$$Q = \text{Debit} \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

$$v = \text{Kecepatan udara} \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$\rho = \text{massa jenis udara} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

$$C_p = \text{Panas spesifik} \left(\frac{kJ}{kg K} \right)$$

$$\dot{m} = \text{Laju aliran massa udara} \left(\frac{kg}{s} \right)$$

$$q_s = \text{Kapasitas Pendinginan (kW atau kJ/s)}$$

$$w_{\text{komp}} = \text{Kerja Kompresor (kW)}$$

3. Metode Penelitian

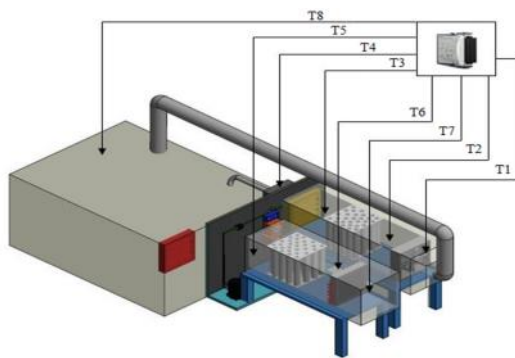
Persiapan awal yang dilakukan sebelum melakukan penelitian adalah memeriksa kondisi alat dan bahan yang akan digunakan untuk pengujian. Tujuan melakukan persiapan pengujian adalah untuk memperoleh data yang akurat pada hasil pengujian, adapun langkah persiapan alat meliputi :

1. Persiapkan peralatan dan perlengkapan yang akan digunakan, pasang thermokopel di tempat yang sudah ditentukan .

2. Hidupkan heater dan panaskan kabin hingga 30 °C.
3. Catat temperatur awal pada kabin sampai mencapai 30 °C dan temperatur awal sebelum proses sistem dimulai.
4. Hidupkan AC tanpa **SDP** dan dengan **SDP** pada awal evaporator dan kondensor kemudian catat temperatur pada thermokople yang sudah terpasang.
5. Atur kecepatan putaran *fan* pada 1,3 m/s.
6. Perhatikan dan catat data setiap 15 menit sebanyak 4 kali atau selama 60 menit.
7. Buka **SDP** mengeluarkan dry ice untuk mengembalikan ke kondisi awal suhu lingkungan dan matikan alat dan tunggu temperatur kabin mencapai 30 °C.
8. Ulangi langkah (1–7) untuk variasi kecepatan *fan* 1,5 m/s pada AC.
9. Ulangi langkah (1–7) untuk variasi kecepatan *fan* 2 m/s pada AC.

3.2. Metode Pengujian

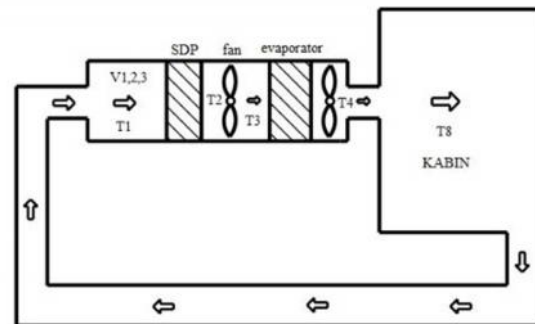
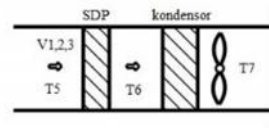
Sebelum melakukan pengujian kinerja mesin dan performan sistem pendingin dengan *SDP* awal udara evaporator dan kondensor dengan dilakukan sebuah langkah pemeriksaan pada mesin tersebut dan melakukan kalibrasi pada alat ukur agar dapat memperoleh hasil yang akurat. Pemeriksaan kondisi alat dan bahan bertujuan untuk menjaga keselamatan kerja pada saat melakukan pengujian dan pengambilan data. Ukuran kabin panjang 200 cm, lebar 120 cm, dan tinggi 120 cm.



Gambar 3. Skematik Pengujian Sistem Pendingin dengan *SDP*.

Keterangan :

- T₁ = Temperatur udara masuk fan
- T₂ = Temperatur masuk *SDP* (Evaporator)
- T₃ = Temperatur masuk evaporator
- T₄ = Temperatur keluar evaporator
- T₅ = Temperatur masuk *SDP* (Kondensor)
- T₆ = Temperatur masuk kondensor
- T₇ = Temperatur keluar kondensor
- T₈ = Temperatur ruangan tercapai
- I₁ = Daya kompresor tanpa *SDP*
- I₂ = Daya kompresor dengan *SDP*



Gambar 4. Skematik Diagram Pengujian.

3.3. Cara Kerja Alat Pengujian

A. Cara kerja AC tanpa menggunakan *SDP*

Pada kabin udara akan dipanaskan oleh *heater*, fungsi *heater* tersebut bertujuan untuk memanaskan udara agar udara masuk ke sistem menjadi konstan, kemudian udara yang sudah dipanaskan dari reheater akan dialirkan ke fan yang kemudian pada evaporator AC bertujuan untuk mendinginkan udara yang tadinya dipanaskan dari *heater*. Setelah udara dingin, lalu udara tersebut akan masuk ke dalam ruangan kabin Udara yang ada diruangan kabin akan keluar ke saluran ducting udara outlet, kemudian temperatur yang masuk ke dalam kompresor AC dialirkan ke kondensor dan dimampatkan di kondensor. Panas yang dilepaskan oleh kondensor adalah jumlah dari energi kompresor yang diperlukan dan energi panas yang diambil evaporator dari substansi yang akan didinginkan.

B. Cara kerja AC dengan menggunakan *SDP* pada awal udara evaporator dan kondensor.

Pada kabin udara akan dipanaskan oleh *heater* untuk memanaskan udara masuk *fan*, kemudian udara yang sudah dipanaskan akan dihembuskan dengan *fan* dan masuk ke *SDP*, dimana *SDP* berfungsi untuk mendinginkan udara yang dipanaskan *heater* yang masuk dari kabin kemudian sisa panas didinginkan oleh evaporator. Setelah udara dingin, udara tersebut akan masuk ke ruangan kabin dan kemudian udara temperatur yang lebih tinggi atau panas akan bersirkulasi kembali yang diserap oleh *fan* inlet. Panas yang terdapat pada refrigerant akan keluar ke saluran outlet, panas tersebut akan keluar melalui *SDP*, dimana kerja kondensor akan didinginkan terlebih dahulu oleh *SDP* sehingga dapat membuat kerja kompresor menjadi lebih ringan.

4. Hasil dan Pembahasan

Pengambilan data nilai hasil pengujian dilakukan dengan memvariasikan kecepatan aliran udara $V1=1,3$ m/s, $V2=1,5$ m/s, $V3=2$ m/s, kemudian dilakukan pencatatan data dan perhitungan seperti menghitung debit dan laju aliran massa udara, menghitung daya kompresor, menghitung kapasitas pendinginan, dan menghitung COP.

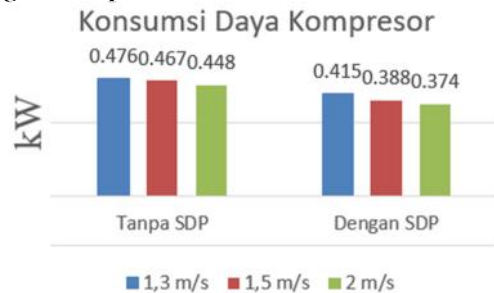
4.1 Data Hasil Hubungan Debit dan Laju

Aliran Massa Udara terhadap kecepatan

Kecepatan (m/s)	Debit (m ³ /s)	Laju Aliran Massa Udara (kg/s)
1,3	0,1443	0,173
1,5	0,1665	0,199
2	0,222	0,266

Tabel 1. Debit dan laju aliran massa udara

4.2 Data Hasil Hubungan Daya Kompresor dengan Kecepatan Aliran Udara



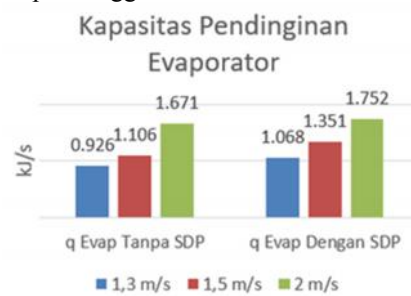
Gambar 6. Grafik batang konsumsi daya kompresor.

Pada gambar 6. Grafik diagram batang menjelaskan bahwa konsumsi daya kompresor dengan SDP pada laju aliran massa udara 0,266 kg/s kinerja dari sistem AC lebih rendah 16% dibandingkan daya kompresor tanpa menggunakan SDP. Pada kecepatan aliran udara 0,173 kg/s konsumsi daya yang dibutuhkan tanpa menggunakan SDP sebesar 0.476 kW, sedangkan dengan menggunakan SDP awal evaporator dan kondensor membutuhkan konsumsi daya 0,415 kW. Untuk kecepatan aliran udara 0,199 kg/s dan 0,266 kg/s tanpa menggunakan SDP dengan konsumsi daya 0,467 kW dan 0,448 kW. Untuk pemakaian SDP awal evaporator dan kondensor dengan konsumsi daya 0,388 kW dan 0,374 kW. Jadi penggunaan SDP dengan laju aliran massa udara 0,266 kg/s lebih efektif untuk mengurangi kerja evaporator dan kompresor AC dibandingkan tanpa menggunakan SDP.

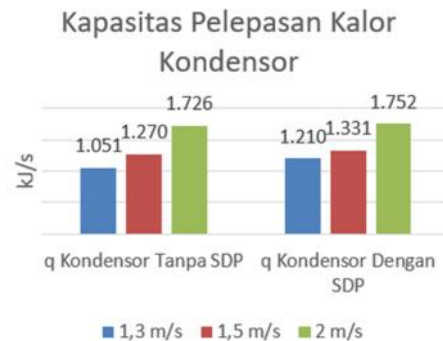
4.3 Data Hasil Hubungan Kapasitas Pendinginan dengan Kecepatan Aliran Udara

Pada gambar 7 merupakan grafik diagram batang kapasitas pendinginan evaporator tanpa dan dengan SDP menjelaskan bahwa kapasitas pendinginan evaporator tanpa dan dengan SDP pada laju aliran massa udara 0,173 kg/s dengan menggunakan SDP awal evaporator kapasitas pendinginan lebih tinggi

13% dibandingkan kapasitas pendinginan tanpa menggunakan SDP. Pada laju aliran massa udara 0,173 kg/s kapasitas pendinginan tanpa menggunakan SDP sebesar 0,926 kJ/s, sedangkan dengan menggunakan SDP awal evaporator sebesar 1,068 kJ/s. Untuk laju aliran massa udara 0,199 kg/s dan 0,266 kg/s tanpa menggunakan SDP dengan kapasitas pendinginan sebesar 1,106 kJ/s dan 1,671 kJ/s. Untuk pemakaian SDP awal evaporator kapasitas pendinginan yaitu 1,351 kJ/s dan 1,752 kJ/s. Jadi penggunaan SDP pada awal udara masuk pada evaporator lebih efektif untuk menambah kapasitas pendinginan evaporato AC sehingga temperatur kabin bisa lebih dingin dan kerja kompresor lebih berkurang dibandingkan penggunaan SDP pada awal udara masuk kondensor dan tanpa menggunakan SDP.



Gambar 7. Grafik batang kapasitas pendinginan evaporator.

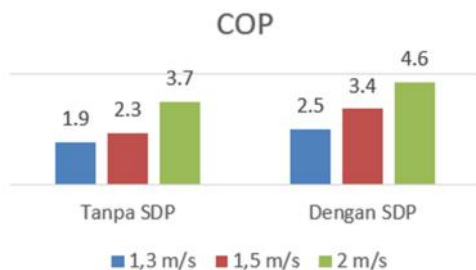


Gambar 8. Grafik batang kapasitas pelepasan kalor kondensor.

Pada gambar 8 merupakan grafik diagram batang pelepasan kalor pada kondensor tanpa dan dengan SDP, menjelaskan bahwa pelepasan kalor pada kondensor tanpa dan dengan SDP pada laju aliran massa udara 0,173 kg/s dengan menggunakan SDP awal kondensor pelepasan kalor ke udara luar lebih tinggi 13% dibandingkan tanpa menggunakan SDP. Pada laju aliran massa udara 0,173 kg/s pelepasan kalor tanpa menggunakan SDP sebesar 1,051 kJ/s, sedangkan dengan menggunakan SDP awal kondensor sebesar 1.210 kJ/s. Untuk laju aliran massa udara 0,199 kg/s dan 0,266 kg/s tanpa menggunakan SDP dengan pelepasan kalor sebesar 1,270 kJ/s dan 1,726 kJ/s. Untuk pemakaian SDP awal kondensor pelepasan kalor menjadi 1,331 kJ/s dan 1,752 kJ/s. Jadi penggunaan SDP pada awal

udara masuk pada kondensor lebih efektif agar dapat membantu pelepasan kalor yang lebih banyak ke udara luar dari kondensor AC sehingga kerja kompresor lebih berkurang dan temperatur kabin menjadi lebih dingin dibandingkan tanpa menggunakan SDP.

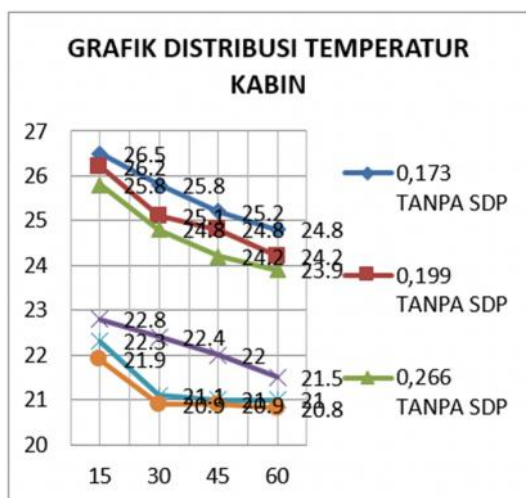
4.4 Data Hasil COP terhadap Kecepatan Aliran Udara



Gambar 9. Grafik batang COP.

Pada gambar 9 grafik diagram batang menjelaskan bahwa COP dengan SDP pada laju aliran massa udara 0,266 kg/s dari sistem AC lebih tinggi 19% dibandingkan COP tanpa SDP. Pada laju aliran massa udara 0,173 kg/s COP tanpa menggunakan SDP sebesar 1,9, sedangkan dengan menggunakan SDP awal evaporator dan kondensor yaitu 2,5. Untuk laju aliran massa udara 0,199 kg/s tanpa menggunakan SDP dengan COP 2,3 sedangkan dengan pemakaian SDP 3,4 dan laju aliran massa udara 0,266 kg/s tanpa menggunakan SDP dengan COP 3,7 sedangkan dengan pemakaian SDP 4,6. Jadi penggunaan SDP dengan laju aliran massa udara 0,266 kg/s lebih efektif untuk meningkatkan COP dari sistem AC dibandingkan tanpa SDP karena udara kabin lebih cepat terdistribusi oleh fan evaporator dan didinginkan lagi oleh SDP evaporator.

4.5 Distribusi Temperatur Kabin Terhadap Kecepatan Aliran Udara



Gambar 10. Grafik Distribusi Temperatur Kabin.

Pada gambar 10 merupakan grafik distribusi temperature kabin tanpa dan dengan SDP pada laju aliran massa udara 0,266 kg/s. Dari gambar 4.5 dapat

dilihat bahwa untuk pencapaian temperatur kabin pada waktu 60 menit pengujian dari temperatur awal 30°C yaitu di 23,9 °C untuk (TdB) tanpa menggunakan SDP dan 20,8 °C untuk (TdB) dengan menggunakan SDP. Hal ini temperatur lebih dingin 3 °C di kabin dibandingkan tanpa penggunaan SDP. Pencapaian temperatur kabin pada laju aliran massa udara 0,173 kg/s dan 0,199 kg/s masing-masing mencapai temperatur kabin pada 21,5 °C (TdB) dan 21 °C (TdB). Hal ini terlihat pada gambar 4.5. Jadi dengan menggunakan SDP awal evaporator dan kondensor pada laju aliran massa udara 0,266 kg/s lebih cepat mendinginkan kabin daripada tanpa menggunakan SDP. Adanya SDP sebelum evaporator dan kondensor, AC mampu menurunkan temperatur sebesar 4,3 °C dan 3,2 °C dibandingkan tanpa menggunakan SDP. Hal tersebut dikarenakan adanya penurunan temperature udara yang melewati SDP terlebih dahulu, sehingga temperature udara masuk evaporator lebih rendah dibanding tanpa SDP yang bertujuan untuk membantu kerja evaporator dan membantu untuk lebih cepat pencapaian temperature pada kabin.

4.6 Hasil Dari Tanpa SDP dan Dengan SDP



Gambar 11. Grafik Distribusi Temperatur Kabin.

Pada gambar 11 merupakan grafik hasil tanpa SDP dan menggunakan SDP pada awal evaporator dan kondensor, dimana perbedaannya yang sangat terlihat bahwa sistem AC menggunakan SDP pada awal evaporator dan kondensor dapat memberi dampak lebih baik dibanding tanpa menggunakan SDP. Salah satunya penurunan daya kompresor, peningkatan kapasitas pendinginan evaporator dan peningkatan pelepasan kalor pada kondensor yang mengakibatkan peningkatan COP. Dengan adanya SDP pada awal evaporator dan kondensor tersebut lebih cepat mendinginkan kabin dibanding tanpa menggunakan SDP, selain itu dengan adanya penurunan daya kompresor maka energy listrik yang dibutuhkan sistem AC tersebut juga akan menurun.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut :

Kinerja *air conditioning* tanpa dan dengan SDP awal udara masuk evaporator dan kodensor pada laju aliran massa udara 0,173 kg/s, 0,199 kg/s dan 0,266 kg/s dimana konsumsi daya kompresor pada penggunaan SDP masing-masing laju aliran massa udara yaitu : pada 0,173 kg/s daya kompresor dengan SDP mendapat 0,415 kW lebih rendah 12% dibanding daya kompresor tanpa SDP yaitu 0,476 kW. Pada 0,199 kg/s daya kompresor tanpa SDP mendapat 0,467kW dan daya kompresor dengan SDP mendapat 0,388 kW dimana daya kompresor dengan SDP lebih rendah 16% dibanding daya kompresor tanpa SDP, sedangkan pada 0,266 kg/s daya kompresor tanpa SDP mendapatkan 0,448 kW dan daya kompresor dengan SDP mendapatkan 0,374 kW dimana daya kompresor dengan SDP lebih rendah 16% dibanding daya kompresor tanpa SDP. Dengan penggunaan SDP pada laju aliran massa udara 0,199 kg/s dan 0,266 kg/s lebih efektif karena konsumsi daya kompresor yang diperlukan oleh sistem AC lebih rendah daripada daya kompresor tanpa SDP.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada Teknisi Laboratorium Konversi Energi, Teknik Mesin Universitas Udayana yang telah memberi ijin untuk tempat pengambilan data dalam penelitian ini. Penulis juga berterimakasih kepada kedua orang tua dan teman-teman yang telah banyak mendukung baik doa dan bantuan sehingga penulis bisa menyelesaikan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Sugini, 2014, *Kenyamanan Termal Ruang Graha Ilmu*, Yogyakarta.
- [2] Tri Ayodha Ajiwiguna, October 3, 2010, *Cara Kerja Air Conditioner (Siklus Refrigrasi Kompresi Uap)*.
- [3] Stoecker, Wilbert.F, dan Jones J.W., 1992, *Refrigrasi Dan Pengondisian Udara, alih bahasa Supratman Hara*, Erlangga, Jakarta.
- [4] Sungadiyanto, 2006, *Studi Eksperimental Performa Mesin Pengkondisian Udara (AC) MC Quay Dengan Refrigerant R-22*, Universitas Semarang.



Dhanang Rakasiwi menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana pada Program Studi Teknik Mesin, pada tahun 2020. Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan pengkondisian udara dan perpindahan panas.

Performansi Sistem Pendingin dengan Solid Dry Pad sebagai Pendingin Awal Udara pada Kondensor

Dek Ogi Widhiana AI, Hendra Wijaksana, N. Suarnadwipa
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Indonesia termasuk salah satu negara yang memiliki iklim tropis, negara dengan iklim tropis memiliki karakteristik temperatur udara yang lebih panas dan dapat mengakibatkan suhu ruangan akan meningkat, oleh sebab itu dapat mengakibatkan pekerjaan didalam ruangan menjadi terganggu, untuk menghasilkan kapasitas pendinginan yang diperlukan dalam suatu ruangan, maka perlu dilakukan pengujian dan pemasangan komponen yang dimodifikasi pada sistem AC (Air Conditioner), penggunaan AC memerlukan energi listrik yang cukup tinggi maka dari itu untuk menghemat energi di perlukan komponen tambahan berupa solid dry pad (SDP), dengan memasang SDP pada sistem AC, pemasangan komponen SDP akan menghasilkan dua energi pendinginan, yang pertama yaitu pendingin dari refrigeran di evaporator dan yang kedua adalah pendingin dari SDP yang sudah terisi dry ice. Modifikasi ini akan mempengaruhi kerja komponen secara umum baik pada evaporator maupun pada kompresor. Hasil penelitian ini penulis memvariasikan kecepatan laju aliran massa udara Dengan SDP masing-masing kecepatan aliran udara, yaitu: pada V1 kapasitas pendinginan 0,570 kJ/s, daya kompresor 0,439 kW, dan COP 1,2. Pada V2 dengan kapasitas pendinginan 0,799 kJ/s, daya kompresor 0,420 kW, dan COP 1,9, sedangkan pada V3 dengan kapasitas pendinginan 1,287 kJ/s, daya kompresor 0,387 kW dan COP 3,3.

Kata Kunci : Sistem Pendingin, Solid Dry Pad, SDP, Es Kering

Abstract

Indonesia is one of the countries that has a tropical climate, countries with tropical climates usually has hotter air characteristics causing the temperature rooms will increase and causing the work disturbed even resulting a sense of discomfort when doing work, to produce cooling capacity that needed in a room, it is necessary to test and install the modified components in the AC system (Air Conditioner), the use of air conditioners requires quite high electrical energy and therefore to save energy, additional component such as SDP is needed, by installing a solid dry pad (SDP) on the AC system, by installing SDP components, two cooling energies will be produced, the first is the cooling from the refrigerant in the evaporator and the second is the cooling from the SDP that has been filled with dry ice. This modification will affect the work of components in general, both on the evaporator and the compressor. In this study the authors vary the velocity of the air mass flow rate of the parameters. The results showed on the use of SDP of each air flow velocity, namely: at V1 cooling capacity 0.570 kJ / s, compressor power 0.439 kW, and COP 1.2. At V2 with a cooling capacity of 0.799 kJ / s, compressor power 0.420 kW, and COP 1.9, while at V3 with a cooling capacity of 1.28 kJ / s, compressor power 0.387 kW and COP 3.3.

Keywords : Cooling System, Solid Dry Pad, SDP, Dry Ice

1. Pendahuluan

Indonesia adalah negara yang termasuk salah satu yang memiliki iklim tropis, iklim tropis memiliki karakteristik temperatur udara yang lebih panas, letaknya yang berada dibawah garis katulistiwa menyebabkan negara indonesia mendapat sinar matahari secara merata pada waktu siang hari, sehingga temperatur udara menjadi lebih panas dan kering, udara lingkungan lebih panas menyebabkan suhu ruangan akan lebih meningkat, meningkatnya suhu suatu ruangan, dapat mengakibatkan para pekerja yang dilakukan didalam ruangan tersebut menjadi terganggu, sehingga timbulnya rasa kurang nyaman saat melaksanakan pekerjaan. Suhu ruangan yang nyaman yaitu diantara temperatur 22-25°C, bila suatu ruangan sudah mencapai temperatur yang diinginkan, maka pekerja akan merasa nyaman saat melakukan aktifitas di dalam ruangan [2].

Pemakaian Air Conditioning pendingin ruangan, tidak hanya dapat berguna untuk membantu menjaga suhu ruangan agar tetap konstan, tetapi juga bisa untuk membantu meningkatkan kualitas udara dalam

ruangan dan bisa mengurangi gejala asma dan alergi. AC sekarang telah menjadi sebuah alat rumah yang sangat diperlukan, terutama untuk mengalahkan hawa panas terik saat dimusim panas [3].

Untuk menghasilkan atau mendapatkan kapasitas pendinginan yang diperlukan dalam suatu ruangan, maka perlu dilakukan pengujian dan pemasangan komponen yang dimodifikasi pada sistem AC. Penggunaan AC memerlukan energi listrik yang cukup tinggi maka dari itu untuk menghemat energi di perlukan komponen tambahan berupa SDP untuk membantu memperingan kerja kompresor. Dalam modifikasi yang akan dilakukan dengan pemasangan *solid dry pad* (SDP) pada sistem AC. Dengan pemasangan komponen SDP akan dihasilkan dua energi pendinginan yaitu yang pertama pendinginan dari refrigeran di evaporator dan untuk yang kedua pendinginan dari SDP yang terisi *dry ice*. Modifikasi ini akan mempengaruhi kerja komponen secara umum baik pada evaporator maupun pada kompresor.

Berdasarkan dari penelitian ini akan dilakukan pengujian untuk mengurangi kebutuhan listrik pada AC. Pada sisi masuk kondensator akan diletakkan sebuah SDP yang dimana pada SDP tersebut akan di masukan *dry ice* sebagai material pendingin alternatif yang mudah didapatkan. Dimana fungsi SDP untuk dapat mengurangi kerja kompresor dengan mendinginkan udara masuk kondensator terlebih dahulu sehingga kerja kompresor lebih ringan dan dapat membantu kerja kondensator agar sirkulasi pada kondensator mendapat hasil udara yang diinginkan dan dapat memperbesar kapasitas pendinginan pada ruangan. Dalam SDP yang digunakan berupa susunan pipa yang secara *staggered*.

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini, yaitu, bagaimana performansi sistem pendingin dengan Solid Dry Pad sebagai pendingin awal udara pada kondensator terhadap kecepatan laju aliran massa udara.

Batasan masalah penelitian ini, adalah:

1. Waktu pengujian dilakukan selama 1 jam.
2. Temperatur awal ruangan diatur pada $T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$.
3. Temperatur luar kabin diasumsikan konstan.
4. Dinding kabin yang didinginkan dianggap terisolasi sempurna.
5. Daya *fan* pada *ducting inlet* diabaikan.
6. Kecepatan aliran udara *fan* kondensator diasumsikan konstan.
7. Semua performansi AC didapat secara Experimental.
8. Solid Dry Pad yang digunakan berbahan dasar Dry Ice yang sering dijual dipasaran.

2. Dasar Teori

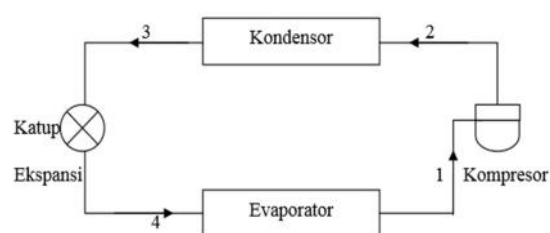
2.1 Dry ice (Es Kering)

Dry ice adalah yang berbentuk padat, terdiri dari dua buah atom oksigen terikat pada atom karbon tunggal. Pada suhu di atas $-56,4^{\circ}\text{C}$ ($-69,5\text{ }^{\circ}\text{F}$) dan tekanan di bawah 5,2 bar dimana dari perubahan CO_2 dari gas ke fase padat (es kering). Pada tekanan atmosfer, sublimasi terjadi pada $-78,5^{\circ}\text{C}$ ($-109,3^{\circ}\text{F}$) [1].

2.2 Prinsip Kerja AC (Air Conditioning)

Kompressor pada sistem pendingin yang dipergunakan untuk mengkompresikan fluida kerja *refrigerant* yang masuk ke dalam kompresor dialirkan menuju ke kondensator. *Refrigerant* akan berubah fase dari uap menjadi cair, *refrigerant* mengeluarkan kalor yaitu kalor penguapan. Adapun besarnya kalor yang dilepaskan oleh *kondensator* adalah jumlah dari energi kompresor yang diperlukan dan energi kalor yang diambil *evaporator*. Setelah *refrigerant* melewati *kondensator* dan melepaskan kalor penguapan, maka *refrigerant* akan dialirkan melalui katup ekspansi, pada katup ekspansi, tekanan *refrigerant* akan diturunkan sehingga

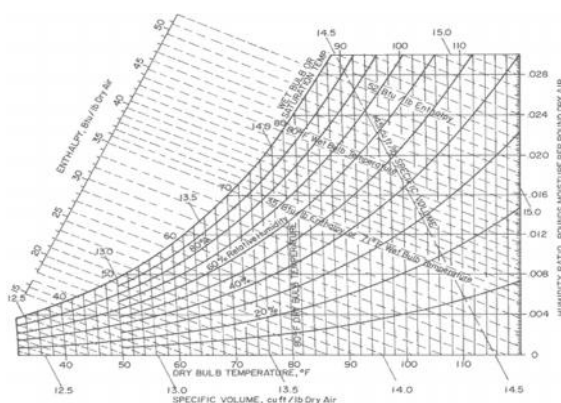
refrigerant berubah kondisi dari fase cair ke fase uap, didalam *evaporator*, *refrigerant* akan terjadi penurunan tekanan, sehingga temperatur yang dihasilkan menjadi sangat rendah. Dengan adanya perubahan kondisi *refrigerant*, maka untuk merubahnya dari fase cair ke fase uap membutuhkan energi yaitu energi penguapan, dalam hal ini energi yang digunakan adalah energi yang berada di dalam substansi yang akan didinginkan. Dengan diambilnya energi didalam substansi yang akan didinginkan maka *enthalpi* substansi yang akan didinginkan akan menjadi rendah, dengan turunnya *enthalpi* maka temperatur dari substansi yang akan didinginkan akan menjadi rendah. Proses ini akan berubah terus-menerus sampai terjadi pendinginan yang sesuai dengan keinginan [4].



Gambar 1. Cara Kerja AC

2.3. Psychrometric Chart

Temperatur bola kering (T_{dB}) ditunjukkan dari garis-garis vertikal ditarik oleh sumbu horisontal. Temperatur bola basah (T_{wB}) ditunjukkan dari garis-garis yang ditarik dari garis saturasi kemudian menurun ke arah kanan bawah dan akan membentuk gradien negatif. Kelembaban relatif (RH) merupakan sebuah dari ukuran derajat kejenuhan udara pada (T_{dB}). Kelembaban Spesifik (w) sebagai massa uap air setiap dari satuan massa udara kering dalam sebuah campuran pada (T_{dB}) serta menyatakan kandungan uap air sebenarnya yang ada dalam udara [5].



Gambar 2. Psychrometric chart.

2.4. Rumus Perhitungan Pengkondisian Udara

Menghitung laju aliran volume udara

$$Q = V \times A \quad (1)$$

Menghitung konsumsi daya

$$P = V \cdot I \cdot t \text{ dan } P = V \cdot I \cdot \cos \phi \quad (2)$$

Menghitung kapasitas pendinginan

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

$$\text{Menghitung COP} = \frac{Q_{\text{evap}}}{W_{\text{kompresor}}} \quad (4)$$

Dimana :

$$Q = \text{Debit} \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

$$v = \text{Kecepatan udara} \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$\rho = \text{massa jenis udara} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

$$C_p = \text{Panas spesifik} \left(\frac{kJ}{kg K} \right)$$

$$\dot{m} = \text{Laju aliran massa udara} \left(\frac{kg}{s} \right)$$

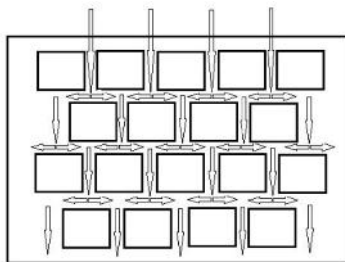
$$q_s = \text{Kapasitas Pendinginan} \text{ (kW atau kJ/s)}$$

$$w_{\text{komp}} = \text{Kerja Kompresor} \text{ (kW)}$$

3. Metode Penelitian

3.1 Deskripsi Penelitian

Pada penelitian ini, rancangan Solid Dry Pad (SDP) merupakan susunan dari beberapa besi dengan panjang 28 cm, dimensi lubang 3,5 cm dan ketebalan 1 mm yang disusun diantara plat dengan ketebalan 1 mm secara staggered. SDP memiliki ketinggian 28 cm, lebar 24 cm. SDP merupakan suatu wadah dimana dry ice akan dimasukkan kedalam susunan besi-besi tersebut.



Gambar 3. Distribusi Udara Pada SDP Staggered

Dimana fungsi SDP membantu mengurangi kinerja kompresor dengan cara mendinginkan udara masuk pada kondensor terlebih dahulu sehingga kerja pada kompresor lebih ringan dan membantu kerja kondensor.

3.2. Persiapan Pengujian

Persiapan awal memeriksa kondisi alat dan bahan yang digunakan. Bertujuan untuk memperoleh data yang lebih akurat pada hasil pengujian, adapun langkah persiapan alat ini meliputi:

1. Persiapkan peralatan dan perlengkapan yang akan digunakan.
2. Pasang thermokopel di tempat yang sudah ditentukan
3. Hidupkan heater dan panaskan kabin hingga 30 °C.
4. Catat temperatur awal pada kabin sampai mencapai 30 °C dan temperatur awal sebelum proses sistem dimulai.
5. Hidupkan AC tanpa SDP dan dengan SDP pada awal kondensor kemudian catat temperatur pada thermokople yang sudah terpasang.
6. Atur kecepatan putaran fan pada 1,3 m/s.
7. Perhatikan dan catat data setiap 15 menit sebanyak 4 kali atau selama 60 menit.

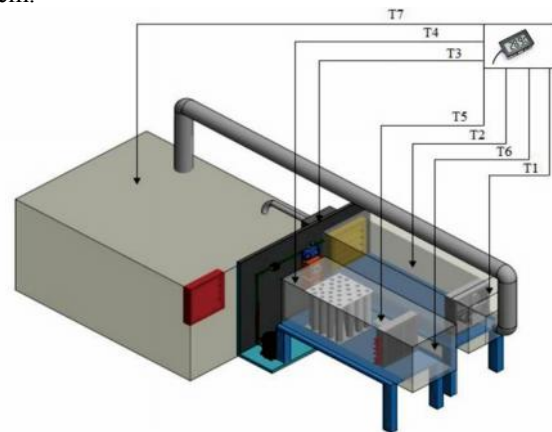
8. Buka SDP mengeluarkan dry ice untuk mengembalikan ke kondisi awal suhu lingkungan dan matikan alat dan tunggu temperatur kabin mencapai 30 °C.

9. Ulangi langkah (1 – 8) untuk variasi kecepatan fan 1,5 m/s pada AC.

10. Ulangi langkah (1 – 8) untuk variasi kecepatan fan 2 m/s pada AC.

3.3. Metode Pengujian

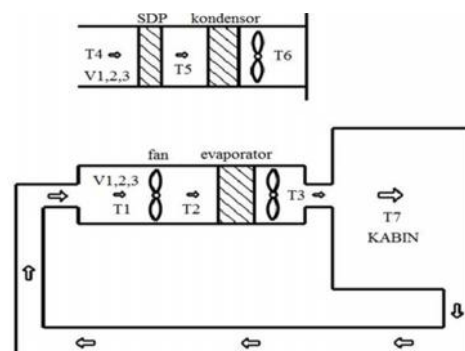
Sebelum melakukan pengujian akan dilakukan pemeriksaan dan melakukan kalibrasi pada alat ukur agar memperoleh hasil yang akurat. Pemeriksaan ini bertujuan untuk menjaga keselamatan kerja. Ukuran kabin panjang 200 cm, lebar 120 cm, dan tinggi 120 cm.



Gambar 4. Skematik Pengujian Sistem Pendingin dengan SDP

Keterangan :

- T₁ = Temperatur udara masuk fan
- T₂ = Temperatur masuk evaporator
- T₃ = Temperatur keluar evaporator
- T₄ = Temperatur masuk SDP_(Kondensor)
- T₅ = Temperatur masuk kondensor
- T₆ = Temperatur keluar kondensor
- T₇ = Temperatur ruangan tercapai
- I₁ = Daya kompresor tanpa SDP
- I₂ = Daya kompresor dengan SDP



Gambar 5. Skematik Diagram Pengujian

3.4. Cara Kerja Alat Pengujian

Cara kerja AC tanpa SDP, pada kabin udara akan dipanaskan oleh heater, fungsi heater tersebut bertujuan untuk memanaskan udara agar udara masuk ke sistem menjadi konstan, kemudian udara yang sudah dipanaskan dari heater akan dialirkan ke fan yang kemudian pada evaporator AC bertujuan untuk mendinginkan udara pada kabin. Setelah udara dingin, lalu udara tersebut akan masuk ke dalam ruangan kabin Udara yang ada diruangan kabin akan keluar ke saluran ducting udara outlet, kemudian dari temperature yang masuk ke dalam kompresor AC akan dialirkan ke kondensor dan dimampatkan di kondensor. Panas yang dilepaskan oleh kondensor adalah jumlah dari energi kompresor yang diperlukan dan energi panas yang diambil evaporator dari substansi yang akan didinginkan.

Cara kerja AC dengan SDP pada awal udara kondensor, dimana pada kabin udara akan dipanaskan oleh heater, fungsi heater tersebut bertujuan untuk memanaskan udara agar udara masuk ke sistem menjadi konstan, kemudian udara yang sudah dipanaskan dari heater akan dialirkan ke fan yang kemudian pada evaporator AC bertujuan untuk mendinginkan udara pada kabin. Setelah udara dingin, udara tersebut akan masuk ke ruangan kabin dan kemudian udara temperatur yang lebih tinggi atau panas akan bersirkulasi kembali yang diserap oleh fan inlet. Panas yang terdapat pada refrigerant akan keluar ke saluran outlet, panas tersebut akan keluar melalui SDP, dimana kerja kondensor akan didinginkan terlebih dahulu oleh SDP sehingga dapat membuat kerja kompresor menjadi lebih ringan.

4. Hasil Dan Pembahasan

Dalam pengambilan data dari hasil pengujian, dengan memvariasikan kecepatan laju aliran massa udara $v_1 = 1,3$ m/s, $v_2 = 1,5$ m/s, $v_3 = 2$ m/s, kemudian dilakukan pencatatan data dan perhitungan data seperti menghitung debit dan laju aliran massa udara, menghitung daya kompresor, menghitung kapasitas pendinginan, menghitung kapasitas pelepasan kalor kondensor dan menghitung COP.

4.1 Data Hasil Hubungan Debit dan Laju Aliran Massa Udara terhadap kecepatan

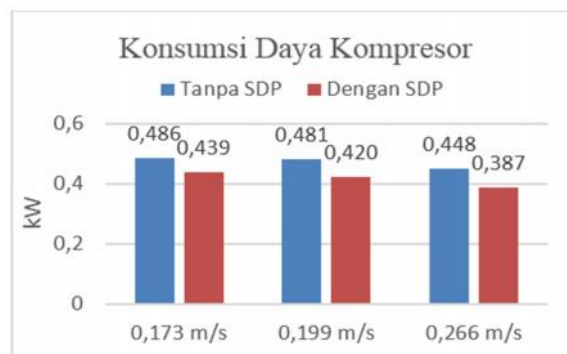
Tabel 1. Debit dan laju aliran massa udara

Kecepatan (m/s)	Debit (m ³ /s)	Laju Aliran Massa Udara (kg/s)
1,3	0,1443	0,173
1,5	0,1665	0,199
2	0,222	0,266

4.2 Data Hasil Hubungan Daya Kompresor dengan Kecepatan Aliran Udara

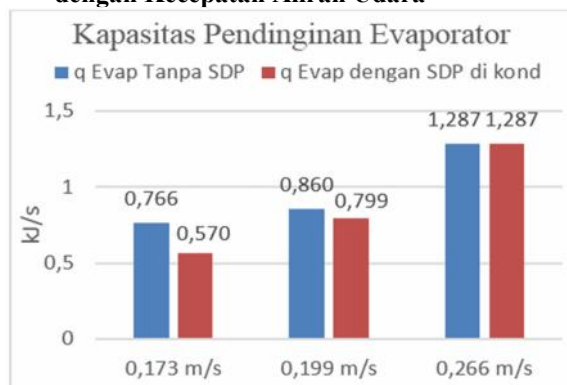
Pada gambar 6 grafik diagram batang menjelaskan bahwa konsumsi daya kompresor dengan SDP pada kecepatan aliran udara 0,266 m/s kinerja dari sistem AC lebih rendah 13% dibandingkan daya kompresor tanpa SDP. Pada kecepatan aliran udara 0,173 m/s konsumsi daya

yang dibutuhkan tanpa SDP sebesar 0.486 kW, sedangkan dengan SDP membutuhkan konsumsi daya 0,439 kW. Untuk kecepatan aliran udara 0,199 m/s tanpa SDP dengan konsumsi daya 0,481 kW. Untuk pemakaian SDP dengan konsumsi daya 0,420 kW. Jadi penggunaan SDP dengan kecepatan aliran udara 0,266 m/s lebih efektif untuk mengurangi kerja evaporator dan kompresor AC dibandingkan tanpa SDP.



Gambar 6. Grafik batang konsumsi daya kompresor

4.3 Data Hasil Hubungan Kapasitas Pendinginan dengan Kecepatan Aliran Udara



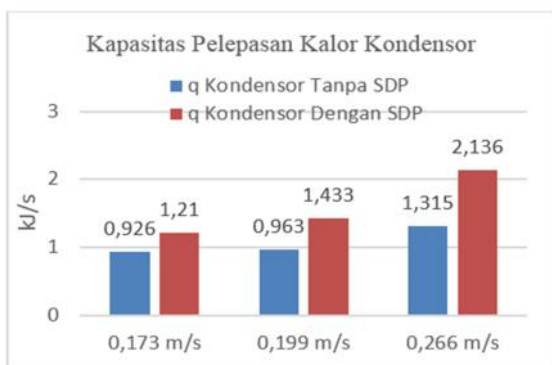
Gambar 7. Grafik batang kapasitas pendinginan evaporator

Pada gambar 7 merupakan grafik diagram batang kapasitas pendinginan evaporator tanpa SDP dan evaporator dengan SDP di kondensor menjelaskan bahwa kapasitas pendinginan pada kecepatan aliran udara 0,173 m/s dengan SDP kapasitas pendinginan lebih rendah 25% dibandingkan kapasitas pendinginan tanpa SDP. Pada kecepatan aliran udara 0,199 m/s mendapatkan kapasitas pendinginan lebih rendah sebesar 7% dan untuk kecepatan aliran udara 0,266 m/s tidak ada penurunan. Dengan adanya penurunan di evaporator disebabkan oleh penurunan konsumsi daya kompresor dan peningkatan kapasitas pelepasan kalor pada kondensor.

4.4 Data Hasil Hubungan Kapasitas Pelepasan Kalor Kondensor dengan Kecepatan Aliran Udara

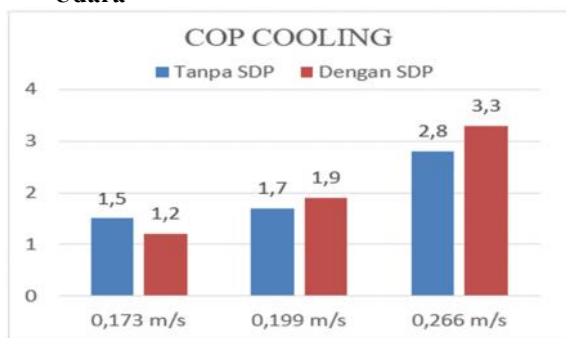
Pada gambar 8 merupakan grafik diagram batang pelepasan kalor pada kondensor. Menjelaskan bahwa pelepasan kalor pada kondensor tanpa SDP dan dengan SDP pada kecepatan aliran udara 0,173 m/s

lebih tinggi sebesar 23% dibandingkan tanpa SDP. Untuk kecepatan aliran udara 0,199 m/s dan 0,266 m/s dengan SDP mendapatkan peningkatan kapasitas pelepasan kalor sebesar 32% dan 38%. Jadi dengan SDP pada awal udara masuk pada kondensor lebih efektif agar dapat membantu pelepasan kalor yang lebih banyak ke lingkungan sehingga kerja kompresor lebih berkurang.



Gambar 8. Grafik batang kapasitas pelepasan kalor kondensor

4.5 Data Hasil COP terhadap Kecepatan Aliran Udara



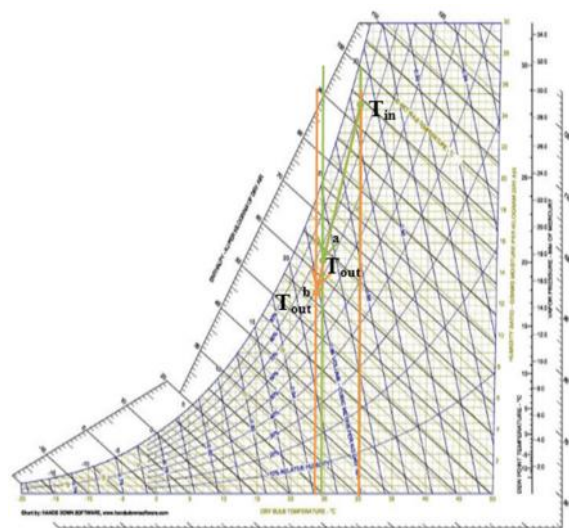
Gambar 9. Grafik batang COP

Pada gambar 9 grafik diagram batang menjelaskan bahwa COP dengan SDP pada kecepatan aliran udara 0,173 m/s mendapatkan penurunan sebesar 7%. Pada kecepatan aliran udara 0,199 m/s dengan SDP mendapatkan peningkatan sebesar 10%. Untuk kecepatan aliran udara 0,266 m/s dengan SDP mendapatkan peningkatan sebesar 15%. Jadi dengan SDP awal udara pada kondensor mampu meningkatkan COP dari sistem AC. Pada kecepatan aliran udara 0,266 m/s lebih efektif untuk meningkatkan COP dari sistem AC dimana udara kabin lebih cepat terdistribusi oleh fan evaporator.

4.6 Grafik Psychrometric

Grafik *Psychrometric* merupakan grafik untuk mengetahui kajian mengenai sifat-sifat campuran udara dan uap air, dengan mengetahui T_{in} dan T_{out} untuk memudahkan mencari titik pada diagram *psychrometric chart*. Pada gambar 10 grafik *psychrometric* pada kecepatan $V_3 = 0,266$ m/s Tanpa SDP dan Dengan SDP. Dimana Tanpa SDP pada T_{in} dan T_{out} TwB mendapatkan RELATIVE

HUMIDITY = 91,42%, Humidity Rasio = 24,8 kg/kg udara kering dan RELATIVE HUMIDITY = 79,55%, Humidity Rasio = 15,3 kg/kg udara kering. Sedangkan Dengan SDP pada T_{in} dan T_{out} TwB mendapatkan RELATIVE HUMIDITY = 91,42%, Humidity Rasio = 24,8 kg/kg udara kering dan RELATIVE HUMIDITY = 70,97%, Humidity Rasio = 13 kg/kg udara kering. Pada hasil penelitian diatas mengalami proses pendinginan dan dehumidifikasi.



Gambar 10 Grafik *Psychrometric* Pada Temperatur Kabin

Dari hasil penelitian pada grafik *psychrometric* untuk kecepatan $V_3 = 0,266$ m/s Dengan SDP lebih Efektif.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut: performansi sistem pendingin dengan solid dry pad sebagai pendinginan awal udara pada kondensor dengan memvariasikan tiga kecepatan laju aliran massa udara. Pada kecepatan $V_1 = 0,173$ m/s lebih kecil dibandingkan pada variasi kecepatan aliran $V_2 = 0,199$ m/s dan $V_3 = 0,266$ m/s dikarenakan waktu yang dibutuhkan kerja AC lebih lama untuk mencapai temperatur kabin, sehingga konsumsi daya kompresor dengan SDP yang tersusun staggered yang di letakan pada awal kondensor pada kecepatan aliran udara $V_3 = 0,266$ m/s, konsumsi daya kompresor lebih rendah 13% lebih efektif untuk mengurangi kerja kompresor AC dan kerja evaporator dibandingkan tanpa SDP

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada Teknisi Laboratorium Konversi Enerji, Teknik Mesin Universitas Udayana yang telah memberikan tempat dalam melaksanakan proses penelitian, terimakasih buat ke dua pembimbing penulis yang sudah memberi banyak waktu dan mengajarkan lebih dalam tentang sistem AC, penulis banyak berterimakasih kepada kedua orang tua yang telah memberikan dukungan, doa, semangat dan

memberikan dukungan biaya dalam penelitian hingga selesai dan terimakasih buat rekan-rekan seperjuangan.

Daftar Pustaka

- [1] ASHRAE, 1989, *ASHRAE standart 62-1989.ASHRAE*. Washington DC.
- [2] M.N. Alkautsar, 2015, *Pengaruh Suhu Udara dan Kelembaban Ruangan dengan Air Conditioning terhadap Respon Subjektif dan Kenyamanan Termal*, Universitas Gadjah Mada.
- [3] Malaka, Tan., 1998, *Kualitas Udara Ruangan dan Kesehatan*. Majalah kesehatan masyarakat Indonesia. Tahun XXVI. Nomor 8, pp. 440-444.
- [4] Komang Metty Trisna Negara, Hendra Wijaksana, Nengah Suarnadwipa, Made Sucipta, 2010, *Analisa Performansi Sistem Pendingin Ruangan dan Efisiensi Energi Listrik pada Sistem Water Chiller dengan Penerapan Metode Cooled Energy Storage* Vol. 4 Nol. 1. Pp. 43-50.
- [5] Sungadiyanto, 2006, *Studi Eksperimental Perorma Mesin Pengkondisian Udara (AC) MC Quay Dengan Refrigerant R-22*. Universitas Semarang.



Dek Ogi Widhiana AI menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana pada Program Studi Teknik Mesin. Pada tahun 2020. Bidang penelitian yang penulis minati adalah topik yang berkaitan dengan perpindahan panas dan pengkondisian udara.

Pengaruh Perlakuan NaOH Pada Ampas Tebu Sebagai Penguat Material Biokomposit Resin Akrilik Terhadap Kekuatan Tarik Dan Bending

I Made Wirautama Putra, Cok Istri Putri Kusuma, Dewa Ngakan Ketut Putra
Negara

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Serat ampas tebu (bagasse) merupakan limbah organik yang banyak dihasilkan di pabrik-pabrik pengolahan gula tebu di Indonesia. Serat ini memiliki nilai ekonomis yang cukup tinggi selain merupakan hasil limbah pabrik gula tebu, serat ini juga mudah didapat, murah, Dari pertimbangan diatas maka penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan analisa teknis berupa kekuatan tarik dan bending dari biokomposit berpenguat serat ampas tebu dengan perlakuan variasi ampas tebu. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik mekanik biokomposit ampas tebu dengan memvariasikan persentase penambahan NaOH (5%, 10%, dan 15%), dengan dilakukan pengujian kekuatan bending (ASTM D790) dan pengujian tarik (ASTM D638-03).

Hasil uji kekuatan bending menunjukkan bahwa spesimen dengan variasi penambahan 15% NaOH memiliki nilai kekuatan bending tertinggi 16,6245 MPa, regangan bending 0,0201 % dan modulus elastisitas 0,9155 GPa. hasil uji tarik menunjukkan bahwa spesimen dengan variasi penambahan NaOH 10 % memiliki nilai kekuatan tarik paling tinggi yaitu sebesar 9,3928 MPa nilai , regangan tarik sebesar 4,639 % dan nilai modulus elastisitas sebesar 0,2746 GPa

Kata kunci: Biokomposit ampas tebu, NaOH, resin akrilik

Abstract

Bagasse fiber (bagasse) is an organic waste that is mostly produced in sugar cane processing factories in Indonesia. This fiber has a high economic value in addition to being the result of sugar cane factory waste, this fiber is also easy to obtain, inexpensive. From the above considerations, this study was conducted to obtain technical analysis in the form of tensile and bending strength of biocomposite with bagasse fiber reinforced fiber with the treatment of bagasse variations. cane of sugarcane bagasse biocomposite by varying the percentage , of addition of NaOH (5%, 10%, and 15%), by testing the bending strength (ASTM D790) and tensile testing (ASTM D638-03).

The strength bending results test showed that the specimens and the addition of 15% NaOH had the highest bending strength values, namely bending stress 16,6245 MPa, bending strain 0,0201% and modulus of elasticity 0,9155 Mpa. The tensile test results show that the specimens with the addition of 10% NaOH have the highest tensile strength values of 9,3928 MPa value, tensile strain of 4,639 % and modulus of elasticity of 0,2746 GPa

Key words: Bagasse biocomposite, NaOH, acrylic resin.

1. Pendahuluan

Indonesia adalah negara kaya akan tanaman penghasil tebu. Ada banyak keanekaragaman jenis-jenis tebu di Indonesia.

Terletak di kawasan tropis sebagian mata pencarian bercocok tanaman, negara penghasil tebu terbesar. Dengan luas lahan keseluruhan mencapai 373.817 Ton/ha pada 2006 menghasilkan sebanyak 84,92 Ton/ha proses pengolahan keseluruhan tebu tersebut menjadi gula menghasilkan 90 % ampas. memanfaatkan ampas tebu yang dihasilkan masih sedikit untuk makanan perternakan, pembuatan pupuk. Di samping terbatasnya nilai ekonomi yang

diperoleh juga belum begitu tinggi, sehingga memerlukan ada proses teknologi sehingga terjadi diversifikasi pemanfaatan lahan pertanian yang ada, salah satunya dengan pembuatan komposit serat tebu (1);

Oleh karena itu memerlukan sebuah ide dan inovasi dalam pembuatan biokomposit yang mempunyai keunggulan. Untuk menyiasati hal itu telah banyak yang melakukan penelitian-penelitian untuk mendapatkan bahan yang terbaik, tidak merusak lingkungan yang mungkin bisa menggantikan bahan yang semakin mahal (tinggi) .

Di manufaktur industri membutuhkan bahan yang mempunyai sifat-sifat istimewa yang susah didapatkan dari logam. Komposit merupakan material alternatif yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Oleh karena itu penelitian ini menggunakan ampas tebu dan NaOH yang dikombinasikan dengan resin akrilik, dalam bentuk partikel sebagai bahan penguat komposit. Dengan berbagai pertimbangan dalam memilih bahan yaitu bahwa ampas tebu dan resin akrilik relatif murah dan mudah peroleh. Hasil dari penelitian pembuatan-pembuatan komposit di atas diharapkan dapat menjadi material alternatif yang baru yang dapat memperbaiki sifat mekanisnya dan bermanfaat bagi kehidupan manusia. Melihat permasalahan tersebut di atas melatar belakangi penulis untuk membuat terobosan baru dalam memanfaatkan limbah ampas tebu dan resin akrilik sehingga bisa bermanfaat bagi kehidupan manusia. Dengan pertimbangan tersebut, maka dalam penelitian ini perlu dilakukan pengujian bending dan tarik terhadap komposit yang berbahan utama filler dari ampas tebu dan akrilik, dan penelitian ini penulis memberi judul "Pengaruh Perlakuan NaOH Pada Ampas Tebu Sebagai Penguat Material Biokomposit Resin Akrilik Terhadap Kekuatan Tarik Dan Bending ". Dalam hal ini ada beberapa permasalahan penelitian yang akan dikaji, yaitu:

1. Bagaimana kekuatan mekanik biokomposit ampas tebu dengan perlakuan NaOH dan resin akrilik ?
2. Bagaimana karakteristik morfologi biokomposit ampas tebu dengan perlakuan NaOH dan resin akrilik?

Beberapa batasan masalah ditetapkan dalam penelitian ini yaitu:

1. Bahan yang digunakan adalah ampas tebu
2. Penelitian ini menggunakan metode hand lay-up dalam pengerjaannya
3. Ampas tebu dengan ukuran ≤ 7 mesh
4. Jenis tebu (*Saccharum officinarum*) yang digunakan untuk komposit diasumsikan sama yaitu varietas PS 864 yang ditanam di banyuwangi, Jawa Timur.
5. Pengujian komposit berupa uji kekuatan bending dan uji tarik
6. Umur panen tebu dianggap seragam yaitu 6 bulan
7. Resin acrylic yang digunakan sebagai matrik
8. Beban tekan pada saat pencetakan panel komposit diasumsikan sama

2. Dasar Teori

2.1 Komposit

Kata komposit (*composite*) berasal dari kata "to compose" yang berarti menyusun atau menggabung. Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material, dimana sifat mekanik dari material pembentuknya berbeda-beda

(3). Karena bahan komposit merupakan bahan gabungan secara makro, maka bahan komposit dapat didefinisikan sebagai suatu sistem material yang tersusun dari campuran/kombinasi dua atau lebih unsur-unsur utama yang secara makro berbeda di dalam bentuk dan atau komposisi material yang pada dasarnya tidak dapat dipisahkan (4).

2.2 Kelebihan Komposit

Komposit mempunyai sifat-sifat mekanik dan fisika yang banyak, diantaranya

1. Gabungan bahan dasar dan penguat dapat menghasilkan komposit yang mempunyai kekuatan yang lebih tinggi dari bahan dasarnya.
2. Bahan komposit mempunyai berat yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan bahan konvensional. Ini memberikan informasi yang penting dalam penggunaannya karena komposit akan mempunyai kekuatan dan kekuatan spesifik yang lebih tinggi dari bahan konvensional, pengurangan berat adalah suatu aspek yang penting dalam industri pembuatan komposit seperti automobile dan pesawat terbang, karena berhubungan dengan penghematan bahan bakar.
3. Bahan komposit tahan terhadap kikisan.
4. Bahan komposit juga mempunyai kelebihan dari segi daya guna, yaitu produk yang mempunyai gabungan sifat-sifat yang menarik dan dapat dihasilkan dengan menggabungkan lebih dari satu serat dengan bahan dasar untuk menghasilkan komposit hybrid.

2.3. Ampas tebu

Tanaman tebu atau *Saccharum officinarum*. Tebu cocok pada daerah yang mempunyai ketinggian tanah 1,2 sampai 1400 meter di atas permukaan laut. Umur tanaman sejak ditanam sampai bisa dipanen kurang lebih 1 tahun. Di Indonesia tebu banyak dibudidayakan di pulau Jawa (5.)

2.4. Matriks

Matriks dalam struktur komposit dapat berasal dari bahan polimer atau logam. Syarat pokok matriks yang digunakan dalam komposit adalah matriks harus bisa meneruskan beban, sehingga serat harus bisa melekat pada matriks dan kompatibel antara serat dan matriks. Matriks dalam susunan komposit bertugas melindungi dan mengikat serat agar dapat bekerja dengan baik.

2.4. Resin Akrilik

Resin akrilik adalah suatu turunan etilen yang dalam rumus struktur kimianya mengandung gugus vinil. Resin akrilik murni memiliki sifat tidak berwarna, transparan dan padat, sesuai dengan persyaratan dari bahan , dalam jangka waktu tertentu bentuknya tidak berubah karena mempunyai dimensional stability yang baik, mempunyai spesifik gravitasi yang rendah.

2.6 Pengertian Aquades

Aquades adalah air mineral yang telah diproses dengan cara destilasi (disuling) sehingga diperoleh

air murni (H₂O) yang bebas mineral. Kalau ditinjau dari namanya, aquades terdiri dari dua kata yaitu (*aqua dan destila*)

2.7 Manfaat NaOH

Natrium hidroksida (NaOH) atau yang lebih dikenal sebagai soda api adalah sejenis basa logam kaustik. Natrium hidroksida terbentuk dari Natrium Oksida yang dilarutkan dalam air. NaOH bersifat lembab cair dan dapat menyerap karbon dioksida dari udara bebas secara spontan. Rumus perhitungan untuk mendapatkan 5% NaOH.

2.8 Uji Bending

Untuk mengetahui kekuatan bending suatu material dapat dilakukan dengan pengujian bending terhadap material komposit tersebut. Kekuatan bending atau kekuatan lengkung adalah tegangan bending terbesar yang dapat diterima akibat pembebanan luar tanpa mengalami deformasi yang besar atau kegagalan. Besar kekuatan bending tergantung pada jenis material dan pembebanan.

Rumus Menghitung Tegangan bending, Regangan Bending, Modulus Elastisitas

Tegangan Bending

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

Dimana :

σL = Tegangan bending (MPa)

P = Beban (N)

L = Panjang Span (mm)

b = Lebar benda uji (mm)

d = Tebal benda uji (mm)

Regangan Bending

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

Dimana :

ϵ_L = Regangan Bending

δ = Defleksi Benda Uji (mm)

L = Support Span

d = Tebal benda Uji

Modulus elastisitas

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

Dimana :

EL = Modulus Elastisitas Bending (MPa)

L = Support Span (mm)

b = Lebar benda uji (mm)

d = Tebal benda uji (mm)

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

2.9 Uji Tarik

Pengujian tarik adalah suatu pengukuran terhadap bahan untuk mengetahui keuletan dan ketangguhan suatu bahan terhadap tegangan tertentu serta pertambahan panjang yang dialami oleh bahan tersebut. Pada uji tarik (Tensile Test) kedua ujung benda uji dijepit, salah satu ujung dihubungkan dengan perangkat penegang.

Dari data yang diperoleh nantinya untuk tegangan tarik, regangan tarik, dan modulus elastisitas dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

Tegangan Tarik

$$\sigma = \frac{P}{A_o} \quad (4)$$

dimana :

σ = kekuatan tarik (MPa)

P = beban tarik maksimum (N)

A_o = luas penampang sesaat (mm²)

Regangan Tarik

$$\epsilon = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \quad (5)$$

dimana :

ϵ = regangan maksimum (mm/mm) ; (%)

l_1 = panjang akhir (mm)

l_0 = panjang awal (mm)

Modulus Elastisitas

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (6)$$

Dimana :

E = modulus elastisitas (GPa)

σ = tegangan (MPa)

ϵ = regangan

2.10 Uji Struktur Mikro

Pengujian *Struktur mikro* akan memperlihatkan morfologi dari biokomposit dengan berbagai variasi komposisi serat ditunjukkan dengan foto material tersebut dengan perbesaran berukuran mikro. Proses pengambilan gambar morfologi bio komposit ini dilakukan di laboratorium Teknik Mesin Universitas Udayana

3. Metode Penelitian

3.1 Proses Pembuatan Serbuk Ampas Tebu

Langkah langkah teknis yang dilakukan pada proses pembuatan serbuk ampas tebu adalah sebagai berikut:

1. Tebu yang sudah dipisahkan antara ampas dengan sarinya dikeringkan dengan oven dengan suhu 70°C selama 2 jam.
2. Ampas tebu yang dipakai untuk panel *biokomposit* merupakan bagian dalam yang merupakan serat yang dipisahkan dari kulitnya.
3. Ampas tebu yang sudah dipisahkan dari kulitnya kemudian dihancurkan dengan menggunakan blender.

3.1.1 Proses Pembuatan Cetakan Komposit

1. Siapkan cetakan dengan ketebalan 3,5 mm.
2. Potong kayu memanjang sehingga membentuk dan tebal yang diinginkan.
3. Kemudian sambung untuk menyatukan ke ujung kayu lainnya. Lalu bersihkan permukaan cetakan dari segala kotoran sehingga bersih.

3.1.2 Pencetakan Panel Biokomposit

Berikut langkah-langkah proses pencetakan panel komposit:

1. Ukur resin akrilik dan serbuk ampas tebu sesuai dengan fraksi volume yang ditentukan.

2. Campur akrilik dan aduk selama ± 15 menit hingga mencapai hingga berubah warna dari putih pekat menjadi putih bening.
3. Masukkan serbuk ampas tebu yang sudah diukur ke wadah yang bersih dan olesi cetakan dengan wax.
4. Setelah akrilik berubah warna, campurkan ke dalam wadah yang berisi serbuk ampas tebu, lalu aduk sampai rata.
5. Masukkan campuran akrilik dan serbuk ampas tebu tersebut ke cetakan.
6. Ulangi langkah dari awal untuk variasi spesimen uji.
7. Setelah kering, panel komposit dikeluarkan dari cetakan secara perlahan.
8. Panel komposit yang kering siap untuk diuji.

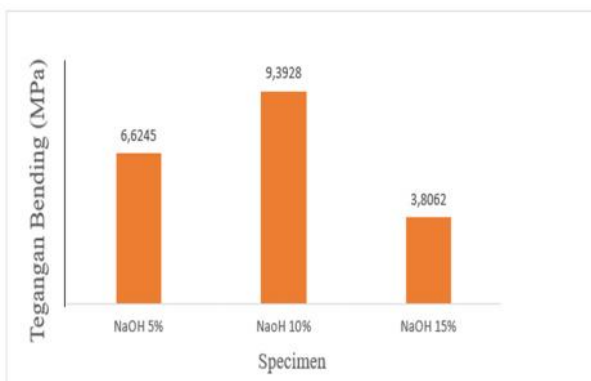
4. Hasil dan Pembahasan

Pengujian kekuatan tarik pada biokomposit ampas tebu dilakukan di Lab. metalurgi Universitas udayana. Alat yang digunakan untuk uji bending yaitu alat uji mekanik tensilon RTG 1250 dengan menggunakan ASTM D368-03.

Hasil dari proses pengujian yang dilakukan yaitu dalam bentuk excel yang berisi data beban x elongasi dari masing-masing spesimen dan telah diperoleh tegangan tarik, regangan tarik, dan modulus elastisitas tarik. Data yang diperoleh tersebut bisa juga kita hitung menggunakan rumus.

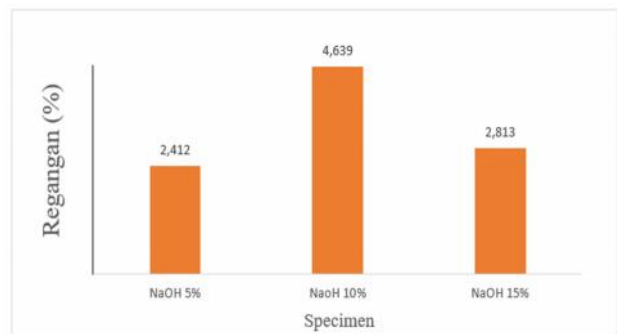
4.1 Pembahasan Hasil Uji Tarik Biokomposit Ampas Tebu

Variasi persentase penambahan NaOH pada Biokomposit ampas tebu dapat mempengaruhi hasil dari tegangan tarik, regangan tarik, dan modulus elastisitas tarik yang diperoleh. Adapun penjelasan dari hasil pengujian tarik pada Biokomposit ampas tebu dengan variasi penambahan NaOH yaitu sebagai berikut:

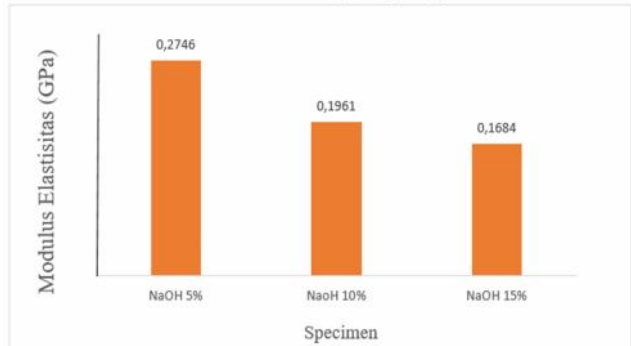


Gambar 1. Grafik Batang Kekuatan Tarik

Data hasil pengujian tarik komposit serat tebu menunjukkan nilai kekuatan tarik komposit, mengalami fluktuasi dengan peningkatan konsentrasi NaOH. Kekuatan tarik pada variasi 5% sebesar 6,6245 MPa, pada 10% sebesar 9,3928 MPa, pada 15% sebesar 3,8062 MPa, hal itu disebabkan karena perlakuan NaOH terhadap serat akan mempengaruhi serat tunggal.



Gambar 2. Grafik Batang Regangan Tarik



Gambar 3. Grafik Tegangan Modulus Elastisitas

Kekuatan tarik serat tunggal lebih tinggi dari kekuatan matrik seharusnya kekuatan komposit meningkat dengan bertambahnya NaOH. Gaya yang diterima matrik akan didistribusikan secara merata pada serat penguatnya, namun kenyataannya kekuatan tarik komposit mengalami penurunan.

Gambar 2 menunjukkan regangan tarik komposit mengalami peningkatan dari variasi NaOH 5% ke 10%, sedangkan dari variasi NaOH 10% ke 15% mengalami penurunan. Nilai regangan tarik pada variasi NaOH 5% sebesar 2,412 %, pada Variasi 10% sebesar 4,639 %, pada variasi 15% sebesar 2,813 %

Besarnya regangan tarik menunjukkan kemampuan benda untuk berubah bentuk. Penurunan regangan tarik disebabkan kuatnya ikatan antara resin akrilik dengan serat ampas tebu. Semakin kuat ikatannya, regangan yang terjadi akan semakin kecil mendekati regangan tarik resin yang lebih kecil dari regangan serat tebu.

Gambar 3 menunjukkan modulus elastisitas akan menurun dengan peningkatan NaOH. Nilai modulus elastis pada fraksi volume 5% sebesar 0,2746 MPa, pada variasi 10% sebesar 0,1961 MPa, pada variasi 15% sebesar 0,1684 MPa.

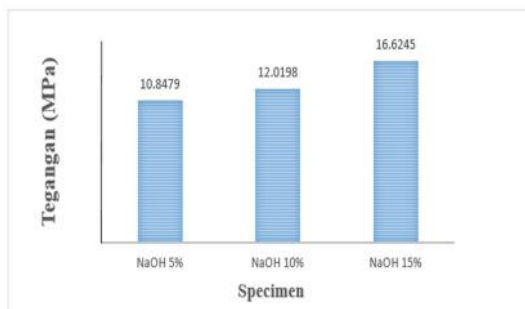
Penurunan modulus elastis tarik biokomposit menunjukkan biokomposit semakin kaku. Peningkatan modulus elastisitas akibat penurunan regangan tarik lebih besar dari penurunan kekuatan tarik.

Penurunan dan peningkatan kekuatan tarik dan regangan tarik disebabkan oleh berbagai hal, diantaranya: proses pengambilan serat, perlakuan NaOH untuk pembersihan serat. Proses pengambilan serat yang dilakukan dengan penggilingan yang berulang-ulang untuk pemerasan kandungan gula dan penghancuran pohon tebu. Perlakuan mekanik ini

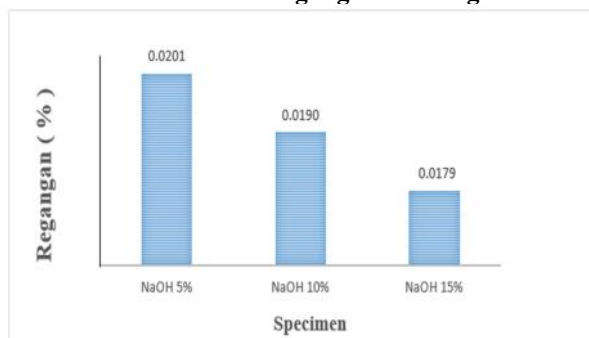
dapat merusak serat sehingga kekuatannya akan berkurang. Perlakuan alkali bertujuan untuk membersihkan serat dari lapisan lignin yang membungkus serat atau kotoran menempel pada serat sehingga ikatan antara matrik dan serat lebih kuat. Jika terlalu lama atau konsentrasi larutan terlalu tinggi akan merusak sel-sel serat utamanya sehingga serat menjadi rapuh dan kekuatannya akan berkurang. Adanya peningkatan dan penurunan pada regangan tarik juga disebabkan oleh factor perlakuan NaOH yang mengalami fermentasi dengan ampas tebu dan resin akrilik sehingga menyebabkan terjadinya peningkatan dan penurunan pada regangan tarik.

4.2 Data Hasil Pengujian Bending Biokomposit Ampas Tebu

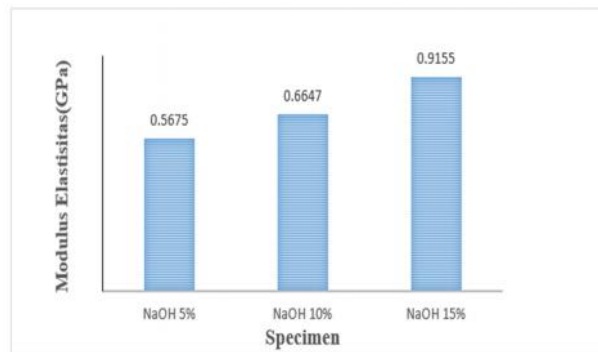
Pengujian kekuatan bending pada biokomposit ampas tebu dilakukan di Lab. metalurgi Universitas udayana. Alat yang digunakan untuk uji bending yaitu alat uji mekanik tensilon RTG 1250 dengan menggunakan ASTM D790. Hasil dari proses pengujian yang dilakukan yaitu dalam bentuk excel yang berisi data beban x elongasi dari masing-masing spesimen dan telah diperoleh tegangan bending, regangan bending, dan modulus elastisitas bending. Variasi persentase penambahan NaOH pada Biokomposit ampas tebu dapat mempengaruhi hasil dari tegangan bending, regangan bending, dan modulus elastisitas bending yang diperoleh. Adapun penjelasan dari hasil pengujian bending pada Biokomposit ampas tebu dengan variasi penambahan NaOH yaitu sebagai berikut.



Gambar 4. Grafik Tegangan Bending



Gambar 5. Grafik Regangan Bending



Gambar 6. Grafik Modulus Elastisitas

Berdasarkan grafik tegangan bending (Gambar.3) diatas terlihat bahwa biokomposit yang memiliki nilai tegangan bending paling tinggi terdapat pada biokomposit dengan penambahan NaOH sebanyak 15% yaitu sebesar 16,6245 MPa. Ini disebabkan karena pada biokomposit dengan penambahan NaOH sebanyak 15% sudah terjadi ikatan yang homogen antara NaOH dengan biokomposit ampas tebu sehingga ketika spesimen diberikan beban, spesimen mampu menerima beban secara merata. Pada spesimen dengan penambahan NaOH sebanyak 10% spesimen dapat menerima beban sebesar 12,0198 MPa. Pada spesimen biokomposit dengan penambahan NaOH sebanyak 10%, ikatan antara biokomposit dengan NaOH menjadi ikatan jenuh. Ini menyebabkan ketika spesimen diberikan beban, maka distribusi tegangan menjadi tidak merata. Sedangkan Biokomposit yang memiliki tegangan bending paling rendah terdapat pada biokomposit dengan penambahan NaOH sebanyak 5% yaitu sebesar 10,8479 MPa. Hal ini disebabkan karena ketidak homogenan ikatan antara NaOH dengan biokomposit ampas tebu sehingga diprediksi terbentuknya void di dalam spesimen.

Pada grafik regangan bending (Gambar 5) dapat dilihat hubungan antara variasi penambahan NaOH pada biokomposit ampas tebu terhadap regangan bending dimana hasil yang diperoleh pada spesimen biokomposit dengan penambahan NaOH sebanyak 5% memiliki nilai regangan bending paling tinggi yaitu sebesar 0,0201%. Pada spesimen biokomposit ampas tebu dengan penambahan NaOH sebanyak 10% memiliki nilai ragangan bending sebesar 0,0190%. sedangkan nilai regangan bending paling rendah terdapat pada spesimen biokomposit ampas tebu dengan penambahan NaOH sebanyak 15% dengan nilai regangan bending yaitu sebesar 0,0179.

Pada grafik modulus elastisitas (Gambar 6) dapat dilihat hubungan antara penambahan NaOH pada biokomposit ampas tebu terhadap modulus elastisitas. pada spesimen biokomposit ampas tebu dengan penambahan NaOH sebanyak 15% memiliki nilai modulus elastisitas paling tinggi yaitu sebesar 0,9155 GPa. Pada spesimen dengan penambahan NaOH sebanyak 10 % memiliki nilai modulus elastisitas yaitu sebesar 0,6647 GPa, sedangkan spesimen yang memiliki nilai modulus elastisitas paling rendah terdapat pada spesimen biokomposit

penambahan NaOH sebanyak 5% dengan nilai modulus elastisitas sebesar 0,5675 GPa GPa.

4.3 Data Hasil Pengamatan Struktur mikro

Hasil pengujian struktur mikro NaOH 5% struktur yang dimiliki ditentukan oleh serat ampas tebu dan resin akrilik . bentuk dan ukuran tersusun dengan rapi serta beraturan.

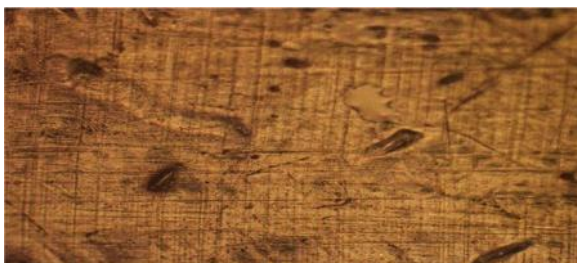


Gambar 7. hasil uji struktur mikro pada spesimen dengan variasi 5% NaOH

Hasil pengujian struktur mikro NaOH 10% struktur yang dimiliki terdapat lobang hitam karena disebabkan campuran tidak merata. sehingga bentuk tidak tersusun dengan rapi dan tidak beraturan.



Gambar.8 hasil uji struktur mikro pada spesimen dengan variasi 10%



Gambar.9 hasil uji struktur mikro pada spesimen dengan variasi 15% NaOH

Hasil pengujian struktur mikro NaOH 15% struktur yang dimiliki terdapat lobang hitam karena disebabkan campuran tidak merata. sehingga bentuk tidak tersusun dengan rapi dan tidak beraturan dan terlihat ada void di permukaan biokomposit.

5 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan tentang pengaruh variasi persentase NaOH terhadap kekuatan bending dan tarik pada biokomposit ampas tebu, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

Hasil penelitian uji bending menunjukkan bahwa biokomposit ampas tebu dengan variasi persentase penambahan NaOH sebanyak 15% memiliki nilai kekuatan bending paling tinggi. Dimana nilai tegangan bending sebesar 16,6245 MPa, nilai regangan bending sebesar 0,0201 , dan

nilai modulus elastisitas sebesar 0,9155 GPa. Hasil penelitian uji tarik menunjukkan bahwa biokomposit ampas tebu dengan variasi persentase penambahan NaOH sebanyak 10 % memiliki nilai kekuatan tarik paling tinggi yaitu sebesar 9,3928 MPa , nilai regangan tarik sebesar 4,639 dan nilai modulus elastisitas sebesar 0,2746 GPa.

Hasil pengujian struktur mikro NaOH 5% dapat dilihat pada struktur yang dimiliki ditentukan oleh serat ampas tebu dan resin akrilik, bentuk dan ukuran tersusun dengan rapi serta beraturan . Hasil pengujian struktur mikro NaOH 10% dapat dilihat struktur yang dimiliki terdapat lobang hitam karena disebabkan campuran tidak merata. sehingga bentuk tidak tersusun dengan rapi dan tidak beraturan. Hasil pengujian struktur mikro NaOH 15% dapat dilihat struktur yang dimiliki terdapat lobang hitam karena disebabkan campuran tidak merata. sehingga bentuk tidak tersusun dengan rapi dan tidak beraturan dan terlihat ada void di permukaan biokomposit.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada Teknisi Laboratorium metalurgi, Teknik Mesin Universitas Udayana yang telah memberi ijin untuk tempat pengambilan data dalam penelitian ini. Penulis juga berterimakasih kepada kedua orang tua dan teman-teman yang telah banyak mendukung baik doa dan bantuan sehingga penulis bisa menyelesaikan penelitian ini

Daftar Pustaka

- [1] Kencanawati, C. I. P. K., Sugita, I. K. G., Suardana, N. P. G., & Suyasa, W. B., 2017, *Karakteristik dan Analisis Awal Getah Pinus Merkusii (Pine Resin) dengan Variasi Suhu Pemanasan sebagai Alternatif Resin pada Komposit*. Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XVI (SNTTM XVI).
- [2] Apriliani, A., 2010, *Pemanfaatan Arang Ampas Tebu Sebagai Adsorben Ion Logam Cd, Cr, Cu, Dan Pb. (Bachelor of Science)*, Jakarta.
- [3] Yudo, H., & Jatmiko, S., 2008, *Analisa Teknis Kekuatan Mekanis Material Komposit Berpenguat Serat Ampas Tebu (Baggase) Ditinjau Dari Kekuatan Tarik dan Impak Kapal*, Vol. 5 No. 2, pp. 95-101.
- [4] Ahmi, A. S., Handani, S., & Mulyadi, S., 2015, *Pengaruh Substitusi Agregat Kasar Dengan Serat Ampas Tebu Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Lentur Beton K-350*, Jurnal Fisika Unand, Vol. 4 No. 3, pp. 298-302.
- [5] Parnata Made, 2018, *Pengaruh Variasi Persentase Hardener Mekpo Terhadap*

Kekuatan Bending Dan Densitas Pada Bioresin Getah Pinus. Universitas Udayana.

- [6] Hajime Shudo, 1983, *Material Testing*, Airyou Shiken, Uchidarokakuho.
- [7] Sofyan Djamil, 2015, *Kekuatan Tarik Dan Bending Sambungan Las Pada Material Baja Sm 490 Dengan Metode Pengelasan Smaw Dan Saw*, Universitas Tadulako.



I Made Wirautama Putra menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana pada Program Studi Teknik Mesin, pada tahun 2020.

Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan kekuatan Biokomposit

Pengaruh Variasi Total Solid Limbah Kulit Kakao Terhadap Volume Biogas Digester Termofilik

Zevana Prima Anggara Prathama, I Nyoman Suprpta Winaya, dan I Gusti Ngurah Putu Tenaya

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengetahui volume biogas optimum dari variasi total solid limbah kulit kakao dan dapat memberi efek langsung terhadap pemanfaatan limbah hasil perkebunan di Indonesia terutama limbah hasil perkebunan kakao. Variasi total solid pada penelitian ini adalah tanpa TS, 5gram TS, 10gram TS, dan 15gram TS. Nilai volume biogas pada penelitian ini yang paling tinggi dihasilkan dari variasi 5gram TS. Pada variasi 5gram TS menghasilkan volume biogas sebesar 1.684,88 mL sedangkan pada variasi tanpa TS, 10gram TS, 15gram TS masing-masing menghasilkan volume biogas sebesar 749,41 ml, 1447,24 ml, dan 1151,28 ml.

Kata Kunci: Biogas, Limbah, Kulit Kakao, Total Solid, Volume

Abstract

The main objective of this research is to find out the optimum biogas volume from the total solid variations of cocoa shell waste and can have a direct effect on the utilization of plantation waste products in Indonesia, especially cocoa plantation waste. The total solid variation in this study is without TS, 5gram TS, 10gram TS, and 15gram TS. The highest value of biogas volume in this study resulted from a variation of 5gram TS. In the 5gram TS variation, the volume of biogas produced 1,684.88 mL, while in the variation without TS, 10gram TS, 15gram TS each produced a biogas volume of 749.41 ml, 1447.24 ml, and 1151.28 ml.

Keywords: Biogas, Waste, Cocoa Shell, Total Solid, Volume

1. Pendahuluan

Berdasarkan Data Badan Pusat Statistik produksi kakao Indonesia periode 2013-2016 menunjukkan tren kenaikan. Sempat menurun pada 2015, produksi kakao domestik pada 2016 kembali mencatat pertumbuhan 7 persen menjadi 656,8 ribu ton. Berdasarkan data dari Food and Agriculture Organization [1], produksi kakao Indonesia merupakan yang terbesar ketiga di dunia setelah Pantai Gading dan Ghana. Pada 2016, produksi kakao Indonesia mencapai 656.817 ton dan ini merupakan yang tertinggi ketiga di dunia. Hal ini tentu berdampak pada semakin banyaknya limbah kakao yang ada di Indonesia karena semakin pesatnya pertumbuhan produksi kakao di Indonesia. Permasalahan ini dapat dijadikan peluang untuk dimanfaatkan, salah satunya adalah dengan memanfaatkan limbah kulit kakao menjadi bahan baku pembuatan biogas.

Teknologi biogas merupakan salah satu teknik dalam mengolah limbah kulit kakao untuk menghasilkan energi biogas. Limbah kulit kakao dapat diolah menjadi bioethanol dengan cara fermentasi, karena mengandung Selulosa 42%, Hemiselulosa 35%, Lignin 9,5%. Jika biogas diolah dengan tepat, potensinya dapat menggantikan gas alam [2].

Biogas merupakan *new renewable energy resources* yang ramah lingkungan. Biogas

dihasilkan dari proses fermentasi bahan-bahan organik oleh bakteri anaerobic. Gas metana (CH₄) dan karbondioksida (CO₂) adalah kandungan utama biogas. Limbah-limbah bahan organik yang dapat dimanfaatkan dalam bahan pembuat biogas dapat berupa limbah restoran, limbah rumah tangga, limbah sayur, limbah buah dan kotoran ternak. Pemanfaatan biogas di Indonesia, khususnya di Bali masih dilakukan dengan skala kecil dan hanya memanfaatkan limbah peternakan seperti kotoran sapi dan kotoran babi sebagai bahan baku dalam pembuatan biogas [3]. Penambahan limbah kulit kakao dan kulit durian sebagai co-substrat dalam produksi biogas dapat meningkatkan hasil dari produksi gas metana yang dihasilkan [4]. Dalam pembentukannya biogas memiliki beberapa komponen dalam pembuatan biogas terdiri dari beberapa komponen yaitu total solid (TS), air dan inokulum. Ketiga komponen memiliki peranan masing-masing dalam pembentukan biogas sebagai bahan baku pembentuk biogas, sebagai bahan campuran pelarut substrat dan sebagai starter (mempercepat proses fermentasi).

Saat ini perkembangan dalam pembuatan biogas sudah sangat berkembang terkait dengan digester dengan parameter total solid (TS), temperatur, selang waktu pengadukan dan teknik pengadukan. Total dari zat padat terlarut

dan zat padat tersuspensi, baik yang bersifat organik maupun anorganik disebut Total Solid (TS). Produksi biogas yang dihasilkan dari digester kondisi termofilik (38-70°C) lebih tinggi dibandingkan produksi biogas pada kondisi mesofilik (30-38°C) dan tanpa pemanasan [5]. Perbandingan campuran total solid menjadi parameter penting dalam produksi gas yang dihasilkan pada digester, pencampuran total solid dengan inokulum kotoran sapi yang tepat bertujuan untuk mendapatkan produksi gas yang maksimal [6].

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini, yaitu untuk mengetahui variasi campuran yang optimum dalam menghasilkan volume biogas. Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah, bagaimana pengaruh variasi total solid terhadap volume biogas yang dihasilkan. Untuk mendapatkan hasil yang diinginkan dari permasalahan yang ada, maka perlu dilakukan pembatasan antara lain:

- Bahan baku biogas yang digunakan adalah limbah kulit kakao dan inokulum kotoran sapi.
- Botol yang digunakan sebagai digester memiliki volume 1000 mL
- Temperatur digester yang digunakan konstan 45°C.
- pH dikondisikan 6,6-7,5
- Jangka waktu pengadukan dilakukan setiap 8 jam dengan waktu pengadukan selama 1 menit.
- Tekanan dan temperature lingkungan dianggap konstan selama penelitian.

2. Dasar Teori

2.1 Karakteristik Limbah Kulit Kakao

Buah Kakao (*Theobroma cacao* L.) merupakan salah satu komoditas perkebunan yang menjadi andalan di Indonesia sehingga keberadaan tanaman kakao ini di Indonesia cukup melimpah jumlahnya. Menurut data dari Badan Pusat Statistik jumlah produksi buah kakao di Indonesia pada tahun 2017 mencapai 700.000 ton. Sedangkan di Provinsi Bali jumlah produksi buah kakao pada tahun 2017 mencapai 4.962 ton [7].

Buah kakao terdiri atas 73% kulit buah kakao atau pod kakao dan 27% isi buah yang terdiri dari kulit biji dan plasenta. Limbah utama yang dihasilkan tanaman kakao merupakan kulitnya. Keberadaan limbah kulit kakao ini cukup melimpah mengingat belum dapat dimanfaatkan secara optimal. Selama ini pemanfaatan kulit buah kakao dilakukan hanya sebagai pakan ternak [8].

Kulit kakao tersusun dari berbagai komponen organik seperti selulosa 42%, hemiselulosa 35%, dan lignin 9,5%. Dengan cukup tingginya kandungan selulosa dan hemiselulosa yang terkandung dalam kulit kakao menjadikan limbah kulit kakao sangat potensial untuk dijadikan bahan baku biogas.

2.2 Biogas

Biogas adalah gas *flammable* yang dihasilkan dari proses fermentasi bahan-bahan organik dengan bantuan bakteri anaerob. Bahan-bahan yang dapat terurai kembali ke tanah adalah bahan-bahan organik yang dimaksud, misalkan kotoran hewan, kotoran manusia, sampah, dan limbah domestik (rumah tangga). Metana (CH₄) dan karbon dioksida (CO₂) merupakan kandungan utama biogas.

2.3 Total Solid (TS)

Total solid (TS) merupakan jumlah persen nilai kering dari bahan baku yang digunakan sebagai bahan baku penghasil biogas. Penghitungan nilai dry matter bertujuan untuk mengetahui kadar air dari suatu bahan organik. TS dapat dihitung dengan cara memanaskan bahan baku dengan menggunakan alat furnace/oven untuk mendapatkan jumlah moisture dari bahan baku. Setelah didapatkan jumlah moisture dari bahan baku maka persentase TS dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\%TS = 100\% - \% \text{moisture} \quad (1)$$

Setelah didapatkan persentase TS maka untuk menghitung jumlah massa substrat yang diperlukan untuk masing-masing digester dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Massa substrat} = \frac{\text{Massa akhir}}{\%TS} \text{ gram} \quad (2)$$

3 Metode penelitian

3.1 Alat

Alat yang digunakan antara lain:

- Botol kaca 1000 mL
- Pressure gauge
- Katup
- Sumbat botol
- Jarum suntik
- Timbangan digital
- Gelas ukur
- pH meter
- Gas container*
- Gas detector* CH₄
- Thermostat digital
- Magnetic Stirrer*
- Timer listrik otomatis
- Termometer digital
- Gas nitrogen

- p. Corong
- q. *Proximate Analysis Elemental* TGA-701
- r. Oven listrik
- s. Cawan

3.2. Bahan

Bahan yang digunakan antara lain:

- a. Limbah kulit kakao
- b. Inokulum
- c. Air

3.3. Metode Uji

Sebelum penelitian dilaksanakan, sebelumnya penulis melakukan pengujian analisis proksimat dari limbah kulit kakao dengan menggunakan alat TGA 701 sesuai standar ASTM D7582 di Laboratorium Konversi Energi Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui persentase dari kandungan moisture dari limbah kulit kakao. Nilai % moisture digunakan untuk menentukan nilai total solid dari bahan baku limbah kulit kakao. Berikut ini adalah hasil dari uji proksimat limbah kulit kakao.

Tabel 1. Data hasil uji analisis proksimat

Sampel	Metode	Massa Awal (g)	Moisture (%)	Volatile (%)	Ash (%)	Fixed Carbon (%)
Kulit Kakao	ASTM D7582	1.0	84	13.66	1.35	0.99

Total solid dapat cari dengan mengurangi kandungan berat air (moisture) yang didapatkan data melalui pengujian proximate, dengan asumsi berat bahan baku dianggap 100%. Dengan cara sebagai berikut:

$$\begin{aligned} TS &= 100\% - \text{Moisture} \\ TS &= 100\% - 84\% \\ TS &= 16\% \end{aligned}$$

Untuk menentukan variasi jumlah bahan baku limbah kulit kakao pada setiap digester digunakan persamaan perbandingan variasi TS tiap digester dengan persentase TS yang telah didapat pada perhitungan nilai persentase TS limbah kulit kakao. Untuk variasi 5 gram TS, dapat ditentukan dengan persamaan :

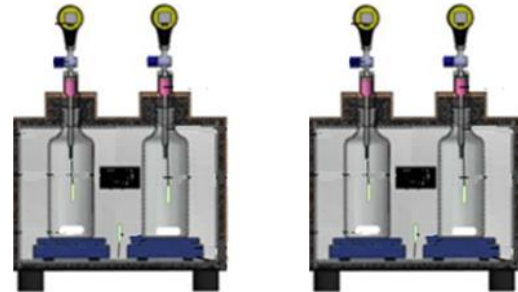
$$5 \text{ gram TS} = \frac{5 \text{ gram TS}}{16.13\%} = 32.25 \text{ gram}$$

Dengan cara yang sama dapat ditentukan variasi jumlah bahan baku limbah kulit kakao yang diperlukan pada setiap digester. Data hasil perhitungan variasi jumlah bahan baku limbah kulit kakao diperlihatkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 2. Data massa substrat tiap digester

Digester	TS (g) / TS%	Substrat (g)
Digester I (Tanpa total solid)	0/16	0
Digester II (5 gram total solid)	5/16	31.25
Digester III (10 gram total solid)	10/16	62.50
Digester IV (15 gram total solid)	15/16	93.75

Berikut adalah gambar digester yang digunakan sebagai penelitian.

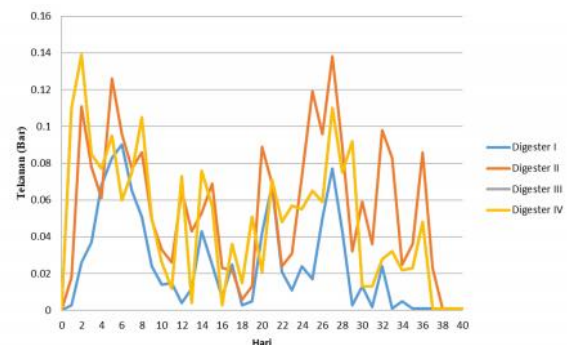


Gambar 1. Digester penelitian

Penelitian ini penulis lakukan selama 40 hari. Data yang dicatat penulis selama penelitian adalah tekanan. Kemudian data diolah menjadi akumulasi tekanan biogas dan akumulasi volume biogas.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Tekanan Harian Biogas



Gambar 2. Grafik tekanan harian biogas

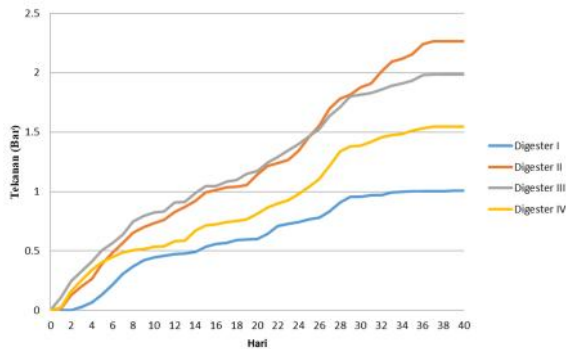
Pada gambar 2. dapat dilihat bahwa tekanan yang dihasilkan biogas setiap harinya naik turun dan tidak konstan, hal ini disebabkan karena adanya pengaruh dari penambahan total solid.

Pada gambar 2. dapat dilihat bahwa pada awal penelitian digester IV menghasilkan tekanan yang paling tinggi dibanding digester lainnya. Namun di tengah-tengah penelitian digester IV mengalami penurunan tekanan karena endapan yang dihasilkan dari banyaknya massa TS yang dicampurkan ke dalam digester IV. Sedangkan pada digester II terus menghasilkan tekanan yang tinggi sampai akhir dikarenakan campuran massa TS yang tepat sehingga tidak terjadi endapan pada bagian dalam digester II. Pada digester I

menghasilkan tekanan yang cenderung rendah diakibatkan karena tanpa adanya penambahan massa TS. Dari hasil tekanan yang telah dicatat selama 40 hari penelitian dapat kita olah menjadi data akumulasi tekanan harian.

4.2 Akumulasi Tekanan Biogas

Berdasarkan data tekanan harian biogas didapatkan hasil akumulasi tekanan biogas pada setiap digester sebagai berikut.



Gambar 3. Grafik akumulasi tekanan biogas

Dapat kita lihat pada Gambar 3. bahwa digester yang memiliki nilai akumulasi tekanan biogas paling tinggi yaitu sebesar 2,264 bar adalah digester II dengan variasi TS 5gram sedangkan digester yang memiliki nilai akumulasi tekanan biogas paling rendah yaitu sebesar 1,007 bar adalah digester I dengan variasi tanpa TS. Hal ini memperlihatkan bahwa penambahan TS sangat mempengaruhi tekanan yang dihasilkan oleh digester, dan komposisi campuran TS juga mempengaruhi tekanan yang dihasilkan digester, maka komposisi campuran TS haruslah tepat untuk mendapatkan hasil biogas yang optimum.

4.5 Akumulasi Volume Biogas

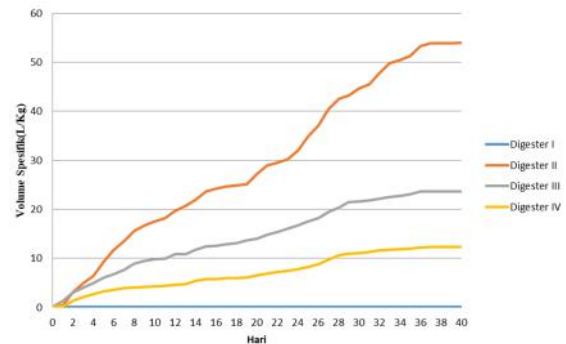
Berdasarkan data akumulasi tekanan biogas didapatkan hasil akumulasi volume biogas pada setiap digester dengan menggunakan persamaan dibawah ini.

$$V_b = \frac{V_{pb} \times T_b \times P_b}{(T_s + 273) \times P_{atm}} \quad (3)$$

Hasil dari perhitungan akumulasi volume biogas selama 40 hari diperlihatkan dalam bentuk grafik.

Dapat kita lihat pada Gambar 4. bahwa digester yang memiliki nilai akumulasi volume biogas paling tinggi yaitu sebesar 1.684,88 mL adalah digester II dengan variasi TS 5gram sedangkan digester yang memiliki nilai akumulasi volume biogas paling rendah yaitu sebesar 749,41 mL adalah digester I dengan

variasi tanpa TS. Hal ini memperlihatkan bahwa penambahan TS sangat mempengaruhi tekanan yang dihasilkan oleh digester, dan komposisi campuran TS juga mempengaruhi tekanan yang dihasilkan digester, maka komposisi campuran TS haruslah tepat untuk mendapatkan hasil biogas yang optimum.



Gambar 4. Grafik akumulasi volume biogas

5. Kesimpulan

Setelah melakukan penelitian, maka diperoleh kesimpulan bahwa variasi TS 5gram pada digester II memiliki nilai akumulasi volume biogas yang lebih tinggi dibandingkan variasi lain pada digester lainnya dengan nilai akumulasi volume biogas sebesar 1.684,88 mL.

Daftar Pustaka

- [1] FAO., 2016, *Data Statistik Produksi Kakao di Dunia*. 1–3.
- [2] Wahyuni, 2009, *Peternakan Sapi Perah Bangka Botanical Garden*. 19–26.
- [3] Winaya, I. N. S., 2009, *Pembangunan Digester Pada Kelompok Ternak Di Desa Kintamani Bangli Yang Mengalami Penurunan Produksi Biogas*.
- [4] Rizkita, A. M., 2014, *Processing of Vegetable Waste to Produce Economic Biogas*.
- [5] Wicaksono, B., 2017, *Pembuatan Biogas Dengan Substrat Limbah Kulit Buah Serta Limbah Cair Tahu dan Cosubstrat Kotoran Sapi Dengan Variabel Perbandingan Komposisi Slurry dan Penambahan EM4*.
- [6] Lin, Q., He, G., Rui, J., Fang, X., Tao, Y., Li, J., & Li, X., 2016, *Microorganism regulated mechanisms of temperature effects on the performance of anaerobic digestion*. Microbial Cell Factories.

- [7] BPS., 2017, *Produksi Kakao Menurut Provinsi di Indonesia 2013 – 2017*.
- [8] Ge, X., Matsumoto, T., Keith, L., & Li, Y., 2014, *Bioresource Technology Biogas energy production from tropical biomass wastes by anaerobic digestion. BIORESOURCE TECHNOLOGY*, 169, pp.38–44.

	<p>Zevana Prima Anggara Prathama menyelesaikan studi SMA di SMAN 5 Denpasar di tahun 2016, lalu melanjutkan pendidikan di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana di tahun 2016, dan lulus pada tahun 2020.</p>
<p>Topik-topik yang berkaitan dengan konversi energi, memanfaatkan limbah sebagai penghasil biogas adalah bidang penelitian yang diminati.</p>	

Pengaruh Total Solid Terhadap Akumulasi Tekanan Biogas Termofilik

Maulana Fachri Baskara, Prof. I Nym Suprpta, dan I Gst. Ngurah Putu Tenaya
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Hampir seluruh aktifitas yang ada di Indonesia memerlukan energi, oleh karena itu energi memiliki peranan penting dalam kehidupan sehari-hari. Di Indonesia pemanfaatan energi meliputi beberapa aspek seperti dalam bidang industri, dalam penerangan, transportasi darat maupun laut dan masih banyak aktifitas manusia yang menggunakan energi sebagai sumber tenaganya, akan tetapi energi yang digunakan sampai saat ini masih meliputi energi batu bara dan minyak bumi saja. Kita harus melakukan penelitian mengenai pengganti minyak bumi dan batu bara yang ramah lingkungan salah satunya biogas. Biogas adalah energi alternatif dan ramah lingkungan yang dapat dimanfaatkan sebagai pengganti minyak bumi dan batu bara. Biogas merupakan gas mampu bakar yang terdiri dari beberapa unsur gas seperti CH_4 , CO_2 yang dimana gas tersebut sama dengan gas elpiji. Volume (produksi) pisang 2018 sebanyak 7,164 juta ton, perkembangan dalam pembuatan biogas sudah sangat berkembang terkait dengan digester dengan parameter total solid (TS). Total Solid (TS) atau padatan total merupakan total dari zat padat terlarut dan zat padat tersuspensi, baik yang bersifat organik maupun anorganik [6]. Oleh karena itu penelitian mengenai bagaimana pengaruh variasi total solid limbah kulit pisang terhadap performansi digester biogas pada keadaan termofilik, dengan komposisi substrat berupa (bahan Baku variasi TS (0gram, 5gram, 10 gram & 15 gram) + 100 ml Inokulum+ 200 ml Air). Hasil dari penelitian ini adalah 5 gTS merupakan variasi terbaik dengan menghasilkan akumulasi tekanan 2,753 bar. Digester I dengan 0 gram TS menghasilkan akumulasi tekanan 0,544 bar, digester III dengan variasi 10 TS menghasilkan akumulasi tekanan 2,32 bar dan digester IV menghasilkan akumulasi tekanan 1,712 bar.

Kata kunci: Biogas, Kulit pisang, Total Solid

Abstract

Almost all activities in Indonesia require energy, therefore energy is an important thing in daily life. In Indonesia the use of energy includes several aspects such as in the industrial sector, in lighting, land and sea transportation and there are still many human activities that use energy as a source of energy, but the energy used to date still includes coal and petroleum energy. Biogas is an alternative and environmentally green energy that can be used as a substitute for petroleum and coal. Biogas is a combustible gas that consists of several gas elements such as CH_4 and CO_2 which is the same as LPG. The volume (production) of bananas in 2018 was 7.164 million tons, addition of durian and banana peel waste as co-substrate in biogas production can increase the yield of methane gas produced [3]. Developments in the production of biogas have been highly developed related to digesters with total solid parameters (TS). Total Solid (TS) or total solid is the total of dissolved solids and suspended solids, both organic and inorganic [6]. Therefore, the research on how the effect of variations total solid banana peel waste on the performance of biogas digester in the thermophilic state, with the composition of substrate (Raw material variations in TS (0gram, 5gram, 10 gram & 15 gram) + 100 ml inoculum + 200 ml water). The results of this study are 5 gTS is the best variation with the resulting pressure accumulated of 2,753 bar. Digester I with 0 gram TS produces pressure accumulated of 0.544 bar, digester III with variation of 10 TS produces accumulated of pressure of 2.32 bar and digester IV produces accumulated of pressure of 1,712 bar.

Keywords: Biogas, Banana Peel, Total Solid

1. Pendahuluan

Hampir seluruh aktifitas yang ada di Indonesia memerlukan energi, oleh karena itu energi memiliki peranan penting dalam kehidupan sehari-hari. Di Indonesia pemanfaatan energi meliputi beberapa aspek seperti dalam bidang industri, dalam penerangan, transportasi darat maupun laut dan masih banyak aktifitas manusia yang menggunakan energi sebagai sumber tenaganya, akan tetapi energi yang digunakan sampai saat ini masih meliputi energi batu bara dan minyak bumi saja. Oleh karena itu sangat perlu penelitian dilakukan untuk menanggulangi ketergantungan kita terhadap minyak bumi dan batu bara karena menurut data dalam 12 tahun mendatang cadangan minyak dan gas bumi di Indonesia akan segera habis [1]. Kita harus

melakukan penelitian mengenai energi ramah lingkungan salah satunya biogas untuk diproyeksikan sebagai pengganti minyak bumi dan batu bara. Biogas adalah energi alternatif dan ramah lingkungan yang dapat dimanfaatkan sebagai pengganti minyak bumi dan batu bara.

Biogas merupakan gas mampu bakar yang terdiri dari beberapa unsur gas seperti CH_4 CO_2 yang dimana gas tersebut sama dengan gas elpiji. Pemanfaatan biogas di Bali masih dilakukan belum skala besar dengan hanya memanfaatkan limbah peternakan seperti kotoran babi maupun kotoran sapi sebagai bahan baku dalam pembuatan biogas [2]. Penambahan limbah kulit pisang dan kulit durian sebagai co-substrat dalam produksi biogas dapat

meningkatkan hasil dari produksi gas metana yang dihasilkan [3].

Di negara beriklim tropis seperti Indonesia banyak tumbuhan yang dapat tumbuh dengan baik salah satunya pisang, pisang sendiri adalah tumbuhan yang memiliki banyak manfaat baik dari kegunaan maupun nilai ekonomis. Volume (produksi) pisang 2018 sebanyak 7,164 juta ton sedangkan produksi buah pisang di Provinsi Bali pada tahun 2018 menyentuh angka 273.249 ton [4]. Komponen biokimia, antara lain selulosa, hemiselulosa, pigmen klorofil dan zat pektin yang mengandung asam galacturonic, arabinosa dan galaktosa merupakan zat yang terkandung di dalam kulit pisang [5]. Sehingga kulit pisang dapat dikembangkan menjadi bahan baku dari pembuatan biogas dengan teknologi yang sederhana.

Pada saat ini perkembangan dalam pembuatan biogas sudah sangat berkembang terkait dengan digester dengan parameter *total solid* (TS). *Total Solid* (TS) atau padatan total merupakan total dari zat padat terlarut dan zat padat tersuspensi, baik yang bersifat organik maupun anorganik [6].

Berdasarkan pendahuluan diatas akan dilakukan penelitian mengenai bagaimana pengaruh variasi total solid limbah kulit pisang terhadap performansi digester biogas pada keadaan termofilik.

2. Dasar Teori

2.1 Biogas

Biogas adalah sebuah gas mampu bakar yang terdiri dari beberapa unsur gas seperti CH_4 CO_2 yang dimana gas tersebut sama dengann gas elpiji. Pemanfaatan biogas di Bali masih dilakukan belum skala besar dengan hanya memanfaatkan limbah peternakan seperti kotoran babi maupun kotoran sapi sebagai bahan baku dalam pembuatan biogas [3]. Penambahan limbah kulit pisang dan kulit durian sebagai co-substrat dalam produksi biogas dapat meningkatkan hasil dari produksi gas metana yang dihasilkan [8]

2.2 Total Solid

Total solid merupakan jumlah persen nilai kering dari bahan baku yang digunakan sebagai bahan baku penghasil biogas. Untuk mengetahui kandungan air pada suatu bahan organik diperlukannya perhitungan dry matter. Nilai kandungan moistur didapatkan setelah dilakukan uji analisa proximate pada bahan baku. Setelah didapatkan jumlah moisture dari bahan baku maka persentase TS dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut [3]:

$$\% TS = 100\% - \% moisture \quad (1)$$

Setekah itu untuk mengetahui massa substrat untuk masing-masing digester dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$massa\ substrat = \frac{massa\ TS}{\%TS} \text{ (gram)} \quad (2)$$

Dari massa substrat tersebutlah dapat ditentukan massa substrat yang dimasukan ke dalam digester.

2.3 Inokulum

Inokulum adalah bahan cair atau padat yang mengandung mikroba atau jasad renik tertentu dan memiliki kegiatan/ sifat yang khas untuk dibiakkan pada suatu media atau bahan tertentu. Slurry yang diambil dari pertengahan usia proses pembentukan biogas dengan bahan baku kotoran hewam juga bisa disebut dengan inokulum. Slurry sudah dianggap memiliki kandungan bakteri cukup untuk membentuk biogas dan diharapkan inokulum tersebut mampu huduo dengan baik, hal ini yang mendasari pemilihan usia di pertengahan proses.

3. Metode Penelitian

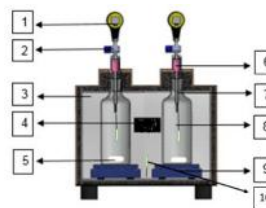
3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini diawali dengan pembuatan digester biogas, digester dibuat dengan menggunakan botol kaca 1 L. Untuk tutup digester digunakan karet kedap udara yang dibuat dari silikon, dimana karet tersebut ditusuk menggunakan jarum suntik yang berukuran 18G x 1.5 inci dan dihubungkan menggunakan katup valve dengan tipe C3SC sebagai pengontrol tekanan pada digester. Untuk memastikan digester bocor atau tidak dapat di uji menggunakan air soda dan di cek tekanannya.

Proses pengadukan menggunakan alat sederhana yang menggunakan magnet, yang dimana magnet tersebut digerakan melalui kipas bermagnet yang sudah diatur dengan *timer digital*. Magnet tersebut diletakan di dalam diegset kemudian digester dan botol digester diletakan diatas kipas bermagnet.

Kotak yang dirancang sedemikian rupa menggunakan triplek dan dibagian dalamnya di lapis dengan aluminium foil agar dapat mengisolasi panas dari heater yang digunakan sebagai pemanas, sehingga di dalam kotak suhunya terjaga pada keadaan termofilik 45°C.

Pada gambar berikut akan ditampilkan bagian digester secara lengkap yang digunakan pada penelitian kali ini.



Gambar 1 Digester Biogas

Keterangan :

1. *Pressure gauge*
2. Katup
3. Box heater
4. Heater
5. Kapsul magnet
6. Penutup botol silikon
7. Jarum suntik
8. Botol kaca (digester)
9. *Magnetic Stirrer*
10. Sensor temperature

3.2. Variabel Penelitian

- Variabel Bebas
 - Variasi rasio campuran total solid (TS) Komposisi yang digunakan pada penelitian kali ini pada masing-masing digester adalah 200 ml air + 100 ml inokulum dan TS limbah kulit pisang dengan variasi 0 gram, 5 gram, 10 gram dan 15 gram.
- Variabel Terikat
 - Akumulasi Tekanan
 - pH Mingguan

Berikut merupakan langkah-langkah yang dilakukan selama penelitian:

1. Persiapan digester dan alat-alatnya.
2. Pengambilan data awal berupa zat penyusun makanan dan karakteristik fisik.

Tabel 1 Karakteristik Fisik

Sampel	Method (%)	Moisture (%)	Volatile Solid (%)	Ash (%)	Fixed Carbon (%)
Kulit Pisang	ASTM D7582	81.6	16.67	1.37	0.35

(Sumber : [7])

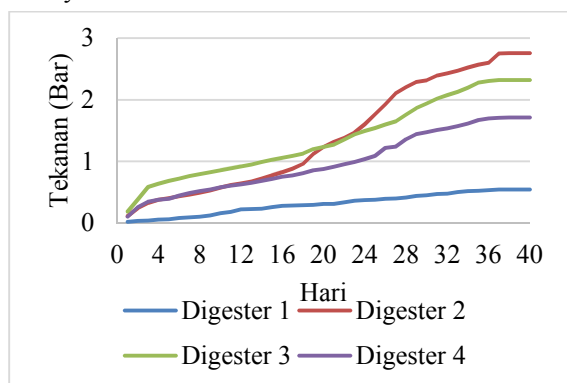
3. Persiapan Bahan Substrat Berupa (Bahan Baku variasi TS (0gram, 5gram, 10 gram & 15 gram + 100 ml Inokulum+ 200 ml Air).
4. Penyemprotan gas nitrogen ke dalam botol digester.
5. Memasukan bahan substrat ke dalam botol digester
6. Letakkan botol digester pada masing-masing box termopilik
7. Pegambilan data, tekanan (setiap hari) dan pH (seminggu sekali setelah pengambilan tekanan)

4. Hasil dan Pembahasan

Dari penelitian yang dilakukan didapat kan data sebagai berikut yang dimana data tersebut akan ditampilkan dalam bentuk grafik agar mempermudah dalam analisa. Berikut data yang didapatkan.

4.1. Akumulasi Tekanan Biogas

Dari gambar 2 dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan tekanan pada semua digester setiap harinya.



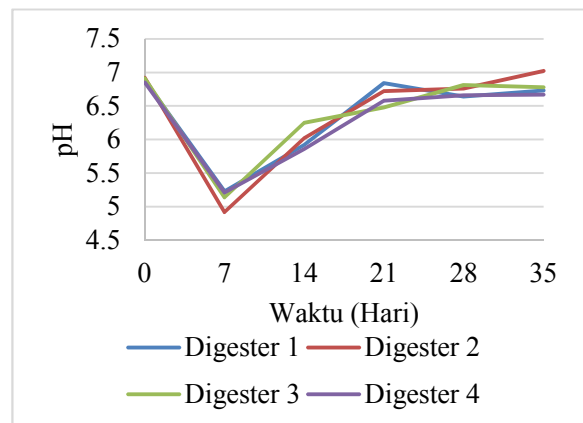
Gambar 2 Grafik Akumulasi Tekanan Harian

Dari grafik tersebut juga dapat dilihat pada variasi digester I sampai dengan digester IV, dapat

dilihat bahwa akumulasi tekanan biogas harian yang dihasilkan variasi digester I adalah yang terendah 0,544 bar dan akumulasi akumulasi tekanan tertinggi yang dihasilkan pada digester II 2,753 bar, hal ini disebabkan pada keadaan digester II jumlah substrat yang dimasukkan kedalam digester berpengaruh terhadap akumulasi tekanan harian biogas dalam perkembangan aktifitas bakteri biogas selama 40 hari. Total solid pada substrat dapat mempengaruhi biogas dalam digester [8]. Penambahan substrat limbah kulit pisang dapat meningkatkan hasil dari produksi gas metana yang dihasilkan, tapi apabila terlalu banyak substrat yang ditambahkan produksi akan tidak maksimal.

4.4 pH Mingguan Biogas

Dari gambar 3 dapat dilihat bahwa pada minggu pertama sampai minggu ke tiga pH campuran substrat masih belum stabil, terutama pada minggu pertama dimana terjadi penurunan yang sangat signifikan aktifitas bakteri yang sedang mendegradasi substrat pada proses asidogenesis yang menghasilkan asam-asam organic [7]. Memasuki minggu ke 2 pH sudah mulai normal walaupun masih ada yang diluar batas normal (6,6-7,5)



Gambar 3 Grafik pH Sebelum Pengkondisian

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian analisa variasi total solid limbah kulit pisang terhadap performansi digester biogas termofilik yang telah dilakukan dalam jangka waktu fermentasi 40 hari maka didapatkan kesimpulan :

1. Akumulasi tekanan biogas harian yang dihasilkan variasi digester I adalah yang terendah 0,544 bar dan akumulasi akumulasi tekanan tertinggi yang dihasilkan pada digester II 2,753 bar.
2. pH digester selama penelitian tidak stabil dikarenakan proses degradaasi substrat. Terutama pada minggu-minggu awal penelitian.

Daftar Pustaka

- [1] ESDM, 2017, *Angka Cadangan Migas Indonesia dan Cara Meningkatkan*,

[https://www.esdm.go.id/id/mediacenter/arsip-
pberita/ini-angka-cadangan-migas-indonesia-
dan-carameningkatkannya] (Diakses tanggal
27 Agustus 2019).

- [2] Winaya, I. N. S., 2016, *Pembangunan Digester Pada Kelompok Ternak Di Desa Kintamani Bangli Yang Mengalami Penurunan Produksi Biogas*, 15(September), 167–172.
- [3] Gitawan, Bobby, 2019, *Performansi Digester Biogas Berbahan Baku Co-Substrat Limbah Kulit Duiran Dengan Variasi Total Solid Pada Keadaan Termofilik*.
- [4] Bali, BPS, 2018, *Produksi Buah Pisang Dirinci Menurut Kabupaten/Kota di Bali, 2000-2018*.
- [5] Abdi, C., Khair, R. M., & Saputra, D. M. W., 2015, *Pemanfaatan Limbah Kulit Pisang Kepok (Musa Acuminata L.) Sebagai Karbon Aktif Untuk Pengolahan Air Sumur Kota Banjarbaru :Fe Dan Mn*, Jukung Jurnal Teknik Lingkungan, Vol.1 No. 1, pp. 8–15.
- [6] Rohmah, N., Sugiarto, A. T., 1999, *Penurunan Ts (Total Solid) Pada Limbah Cair Industri Perminyakan*. Penelitian, P., Listrik, T., Ilmu, L., Indonesia, P., Serpong, K. P. (21), pp. 44–48.
- [7] Maher, Randy, 2019, *Performansi Digester Biogas Berbahan Baku Kulit Pisang Dengan Variasi Selang Waktu Pengadukan Substrat Pada Keadaan Termofilik*.



Maulana Fachri Baskara menyelesaikan studi di SMAN 6 Depok pada tahun 2016, kemudian melanjutkan program sarjana di Jurusan T Mesin Universitas Udayana pada tahun 2016, dan menyelesaikannya pada tahun 2020.

Bidang penelitian yang diminati adalah konversi energi, memanfaatkan limbah sebagai penhasil biogas.

Analisa Volume Biogas Harian Berbahan Baku Limbah Kulit Durian Dengan Variasi Temperatur Termofilik

I Made Panji Tirta Prakasa, I Nyoman Suprpta Winaya dan I Gusti Ngurah Putu Tenaya

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Indonesia masih menggunakan sumber energi dari bahan bakar fosil (BBF) seperti gas alam, batu bara dan minyak bumi. Krisis energi saat ini sedang melanda sehingga dibutuhkan sumber energi yang dapat diperbaharui salah satu contohnya yaitu Biogas. Biogas merupakan sumber energi yang didapat dari aktivitas anaerob dari bahan-bahan yang bersifat organik. Kandungan utama yang ada di dalam biogas adalah CH_4 (gas metana) sebesar 52%-72% dan kandungan CO_2 (karbondioksida) sebesar 32%-42%. Limbah kulit durian merupakan salah satu bahan dari limbah organik yang belum banyak dimanfaatkan sebagai bahan baku biogas, jumlah produksi durian menurut data dari Badan Pusat Statistik (BPS) di Indonesia pada tahun 2018 mencapai 795.200 ton sehingga untuk persediaan ini cukup melimpah. Persentase buah durian yakni pada bagian kulit durian sebesar (61-77%) sedangkan dagingnya hanya (21-36%), dan biji durian sebesar (5-15%), dapat dilihat bahwa persentase kulit durian cukup besar oleh karena itu kami ingin memanfaatkannya sebagai penghasil biogas. Pada penelitian kali ini menggunakan rasio campuran substrat 5 gr TS (Total Solid) + 100 ml inoculum + 200 ml air dengan waktu pengadukan 8 jam sekali (3 x dalam sehari) dengan lama pengadukan 1 menit. Variabel yang ditentukan dalam penelitian ini adalah Variasi temperature $40^0, 45^0, 50^0$, dan tanpa pemanasan. Dimana pada penelitian ini mengenai analisa terhadap akumulasi tekanan harian, dan Kandungan komposisi biogas (CH_4 dan CO_2). Berdasarkan hasil data penelitian yang telah dilakukan disebutkan bahwa temperature 40^0C (termofilik) merupakan keadaan dimana bakteri penghasil biogas (metanogenik) akan berkerja optimal dibandingkan dengan temperature yang lainnya.

Kata kunci: - Limbah Durian, Biogas, Temperatur, Termofilik, CH_4

Abstract

Indonesia still uses energy sources from fossil fuels such as natural gas, coal and petroleum. The current energy crisis is being hit so there is a need for renewable energy sources, for example Biogas. Biogas is a source of energy obtained from anaerobic activity from organic materials. The main content in biogas is CH_4 (methane gas) of 52% -72% and contain of CO_2 (carbon dioxide) of 32% -42%. Durian skin waste is one of the materials from organic waste that has not been widely used as raw material for biogas, the amount of durian production according to data from the Central Statistics Agency Indonesia in 2018 reached 795,200 tons so that this supply is quite abundant. The percentage of durian fruit is in the durian skin (61-77%) while the meat is only (21-36%), and durian seeds is (5-15%), it can be seen that the percentage of durian skin is quite large, therefore we want to use it as a biogas producer. In this study using a substrate mixture ratio of 5 gr TS (Total Solid) + 100 ml inoculum + 200 ml of water with a stirring time of 8 hours (3 times a day) with a stirring time of 1 minute. The variable determined in this study is the temperature variation $40^0, 45^0, 50^0$, and without heating. Where in this study the analysis of the accumulation of daily pressure, and the content of biogas composition (CH_4 and CO_2). Based on the results of research data that has been done it is mentioned that the temperature of 40^0C (thermophilic) is a condition where biogas producing (methanogenic) bacteria will work optimally compared to other temperatures

Keywords: - Waste durian, Biogas, Temperature, Termofilik, CH_4

1. Pendahuluan

Sumber energi sebenarnya sudah tersedia cukup banyak dan tersebar diseluruh indonesia, tetapi untuk pemanfaatannya masih belum optimal bahkan di daerah yang memiliki sumber energi masih menggunakan bahan bakar fosil (BBF) dalam kehidupannya sehari-hari. Kayu, angin, air, matahari, bahan fosil dan juga kotoran ternak merupakan salah satu contoh sumber energi yang tersedia. Hampir semua bahan-bahan diatas mudah untuk didapatkan di Indonesia. Biogas merupakan gas mampu bakar (*flameable*) yang dihasilkan dari proses fermentasi bahan organik oleh bakteri anaerobik [1]. Limbah kulit durian adalah salah satu bahan dari limbah organik yang belum banyak dimanfaatkan sebagai

bahan baku biogas. Menurut data dari Badan Pusat Statistik dan Direktorat Jendral Hortikultura (BPS) jumlah produksi durian di Provinsi Bali 8.435 ton [2]. Oleh sebab itu potensi limbah ini cukup besar untuk bisa dimanfaatkan. Persentase terhadap bagian kulit durian sebesar (60-74%), dagingnya (25-30%), dan biji duriannya hanya sebesar (5-24%) sehingga persentase dari kulit durian ini mampu dimanfaatkan sebagai bahan baku biogas. Bakteri *termophilik* sekitar $40-55^0C$ akan memproduksi biogas yang berbahan baku dari limbah kulit durian ini, sehingga cukup penting untuk memvariasikan temperatur dimana pada keadaan *termofilik* yang bertujuan untuk mengetahui laju pembentukan biogas dan laju pemanasannya [3].

Berdasarkan permasalahan diatas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah Bagaimana pengaruh dari variasi temperatur pemanasan terhadap digester yang berbahan baku co-substrat limbah kulit durian.

Adapun Batasan yang ditetapkan dalam penelitian ini meliputi :

- Bahan baku adalah limbah kulit durian.
- Rasio campuran substrat seragam.
- Waktu pengadukan 8 jam sekali dengan waktu pengadukan 1 menit.

2. Dasar Teori

2.1 Definisi Biogas

Biogas adalah gas mampu bakar yang dihasilkan dari proses fermentasi oleh bakteri-bakteri anaerobik terhadap bahan-bahan organik. Pada proses fermentasi ini membutuhkan waktu yang relatif lama karena proses fermentasi terjadi secara alamiah. Gas metana (CH₄) dan karbondioksida (CO₂) merupakan kandungan utama dari biogas. Pemanfaatan biogas di Bali ini masih menggunakan kotoran Babi dan Sapi untuk bahan bakunya.[4]

2.2 Karakteristik Durian

Buah durian (*Durio Zibethinus Murr*) memiliki ukuran 31-46 cm, lebar 21-26 cm, dan berat sebuah durian berkisar 1-3 kg. Persentase kulit durian sebesar 79,08%, dan untuk daging buah durian hanya sebesar 20,52%. Terdapat unsur selulosa (51-61%). Pada kulit durian mengandung lignin dan kandungan pati yang cukup rendah sebesar (6%) [5].

3. Metode Penelitian

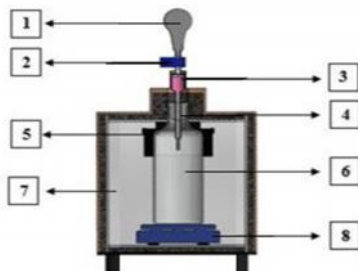
Adapun peralatan yang akan digunakan dalam penelitian ini antara lain :

CH₄ Analyzer, Proximate Analysis Elemental TGA, Ultimate Analysis Elemental C,H,O,N,S 628 , Pressure Gauge, Thermostat Digital, Termometer Digital, Stirrer, pH Meter, Gas Nitrogen, Timer Listrik Otomatis, Gas Container, Timbangan Digital, Botol Kaca, Sumbat Botol, jarum suntik

Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi kulit durian, air mineral dan inoculum kotoran sapi.

3.1 Deskripsi Alat

Pada penelitian kali ini akan menggunakan digester biogas yang terbuat dari botol kaca yang berkapasitas 1000 ml, tinggi 200 mm dan memiliki diameter sebesar 88 mm dimasukkan ke dalam box pemanas seperti gambar 1 dibawah ini :



Gambar 1. Bagian-Bagian Digester Biogas

Keterangan :

- | | |
|------------------------|------------------|
| 1. Pressure Gauge | 5. Heater |
| 2. Valve | 6. Digester |
| 3. Tutup botol silicon | 7. Box heater |
| 4. Jarum | 8. Magnetic Stir |

Rancangan digester yang telah dibuat pada penelitian ini dapat dilihat seperti gambar 2 dibawah ini:

Digester I Digester II Digester III Digester IV



Gambar 2. Rancangan Digester Penelitian

3.2 Karakterisasi Kandungan Zat Penyusun

Data hasil pengujian kandungan zat penyusun dari sampel limbah kulit durian dapat dilihat pada tabel 1 di bawah ini:

Tabel 1. Kandungan Zat Penyusun

Sampel	Method	Intial Mass	Moisture (%)	Volatile Solid (%)	Ash (%)	Fixed Carbon (%)
Kulit	ASTM	1	84,36	14,64	0,57	0,43
Durian	D7582					

3.3 Perhitungan Total Solid

Perhitungan nilai total solid dari bahan baku yang dipakai adalah sebagai berikut :

$$\text{Massa substrat} = \frac{\text{Variasi TS}}{\text{Ts}}$$

$$\text{Massa substrat} = \frac{5 \text{ gram}}{15,64\%}$$

$$\text{Massa substrat} = 31,97 \text{ gram} \approx 32 \text{ gram}$$

Setelah melakukan perhitungan terhadap bahan baku maka dilakukannya penimbangan dan pemasukan sampel seperti gambar 3 dibawah ini :



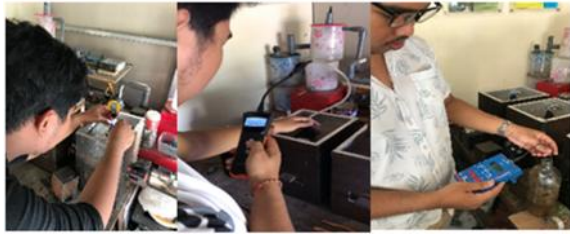
Gambar 3. Penimbangan dan pemasukan sample

3.4 Pengambilan Data

Adapun data-data yang akan dicatat selama penelitian yakni :

- Data Tekanan Biogas Setiap Hari
- Data pH Perminggu
- Data Kandungan Pada Biogas

Proses pengambilan data selama 45 hari dapat dilihat seperti gambar 4 sebagai berikut:

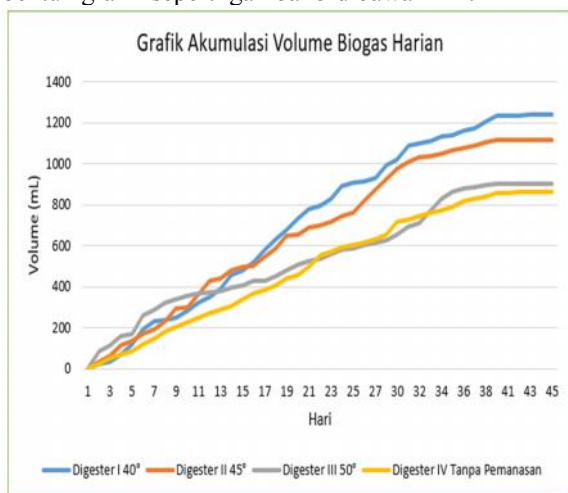


Gambar 4. Proses Pengambilan Data

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Akumulasi Volume Biogas Harian

Berdasarkan data yang telah didapat dengan cara mengkonversi data dari akumulasi tekanan biogas harian sehingga menjadi data akumulasi volume biogas harian. Data tersebut akan disajikan dalam bentuk grafik seperti gambar 5 dibawah ini :



Gambar 5. Grafik Akumulasi Volume Biogas

Dari grafik akumulasi volume biogas harian diatas dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan di setiap digester pada hari ke-1 sampai hari ke-40, sedangkan pada hari ke-41 sampai hari ke-45 tidak terjadi kenaikan. Hal tersebut dikarenakan sumber makanan mulai berkurang dan tidak mencukupi untuk perkembangan bakteri sehingga tidak dapat memproduksi biogas [7].

Akumulasi volume biogas harian yang dihasilkan pada digester I (variasi temperatur pemanasan 40°C) merupakan paling tinggi diantara seluruh digester yaitu sebesar 1.239,042 ml, sedangkan pada digester IV (variasi tanpa adanya pemanasan) menghasilkan akumulasi volume paling rendah yaitu sebesar 861,186 ml. Hal tersebut menunjukkan bahwa temperatur sangat berpengaruh terhadap aktivitas bakteri tersebut, karena dalam proses fermentasi temperature didalam digester akan membuat bakteri metanogenesis akan tumbuh dengan optimal sehingga produksi dari biogas itu tersendiri cukup banyak [8].

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian kami selama 45 hari dapat disimpulkan sebagai berikut.

- Akumulasi volume biogas harian yang dihasilkan pada Digester I (40°) adalah yang paling tinggi sebesar 1.239,05 ml, sedangkan akumulasi volume biogas harian yang terendah dihasilkan pada Digester IV (tanpa pemanasan) sebesar 861,19 ml. Kandungan makanan dan Temperatur sangat berpengaruh terhadap aktivasi bakteri penghasil biogas (metanogenik).

Daftar Pustaka

- [1] Diatmika, I P A , I Nym Suprpta Winaya, I Gst Ngurah Putu Tenaya, 2014, *Potensi Biogas Dengan Bahan Baku Limbah Dapur Pada Industri Perhotelan Di Bali*, Jurnal Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana Vol. 2, No 4
- [2] Badan Pusat Stastistik dan Direktorat Jendral Hortikultura, 2018, *Stastistik Lingkungan Hidup Indonesia*, BPS - Statistic Indonesia.
- [3] Irawan, D, Ridwan, K., 2016, *Pengaruh Temperatur Mesofilik Terhadap Laju Aliran Biogas Dan Uji Nyala Api*, Jurnal Kimia Mulawarman, vol 112, pp. 76–81.
- [4] Welinger, Arthur, Murphi Jeri, 2015, *The Biogas Handbook*, Cambridge, Wood Publish Limited Edition, pp. 14-17.
- [5] Marlinasuwati, Yunsuf, B, Alimudin., 2015, *Pemanfaatan Arang Dari Kulit Buah Durian (Durio ziberthius) Sebagai Adsorben Ion Logam Kalium*. Jurnal Kimia Mulawarman, vol 132, pp. 4–26.
- [6] Guerbitz, Bayer, Bohmann, Gronawer, Weits., 2016, *The Biogas Science And Technology*. Springer, International Publishing AG Switzerland
- [7] Lin Q, He G , Rui J , Fang X , Tao Y., 2016, *Microorganismregulated Mechanisms Of Temperature Effects On The Performance Of Anaerobic Digestion*, Microbial Cell Factories, Vol. 15, No.1.
- [8] Nett, D, I Nym Suprpta Winaya, I Md Putrawan, Wartman, Edelman, 2015 , *Biogas Potential of Co-Substrate in Bali*, pp. 261–265.

	<p>I Made Panji Tirta Prakasa menyelesaikan studi SMA di SMAN 5 Denpasar pada tahun 2016, kemudian melanjutkan program sarjana di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana pada tahun 2016, dan menyelesaikannya pada tahun 2020.</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan konversi energi, memanfaatkan limbah kulit durian sebagai penghasil biogas.</p>	

Studi Eksperimental Pengaruh Serbuk Mikroalga Tropika Dan Grafit Pada Limbah Chitosan Terhadap Tegangan Bending Dan Konduktivitas Termal Komposit PCM

James Limantara, I Nyoman Suprapta Winaya, I Made Astika
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Perkembangan zaman di era globalisasi sekarang ini telah menjadikan jumlah kebutuhan energi semakin meningkat, terutama pada sektor komersial yaitu, energi listrik. Oleh sebab itu, dikembangkanlah teknologi yang dinamakan material berubah fase (PCM). Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk menyerap energi panas melalui pengujian konduktivitas termal dan menghitung kekuatan pada material ketika diberikan beban melalui pengujian bending. Variasi pengujian yang digunakan adalah variasi fraksi volume polyester yaitu 30%, limbah chitosan 30%, mikroalga tropika 30%, 35%, 40%, dan grafit 0%, 5%, 10%. Metode yang digunakan dalam melakukan pengujian ialah dengan menggunakan penggabungan langsung. Untuk mempercepat proses pengeringan pada material dicampurkan bahan pengeras polyester sebagai katalisator 1% dari volume polyester. Adapun hasil yang diperoleh dari pengujian tegangan bending tertinggi pada mikroalga 35% yaitu 10.65 MPa, 30% sebesar 7.79 MPa, dan 40% sebesar 0.94 MPa. Untuk hasil yang diperoleh dari pengujian konduktivitas termal tertinggi pada grafit 10% yaitu 20.05 watt/m.K, grafit 5% sebesar 19.96 watt/m.K, dan pada grafit 0% sebesar 19.89 watt/m.K.

Kata Kunci: Material Berubah Fase, Polyester, Limbah Chitosan, Mikroalga Tropika, Grafit, Penggabungan Langsung

Abstract

Nowadays, in this current era of globalization have made amount of energy needs increasing more, especially in the commercial sector, that is electricity. Therefore, technology called phase change material (PCM) was developed. This research was conducted aiming to absorb heat energy through thermal conductivity testing and calculate the strength of the material when given a load through bending testing. The test variation used is variation of the polyester volume fraction that is 30%, chitosan waste 30%, tropical microalgae 30%, 35%, 40%, and graphite 0%, 5%, 10%. The method used in conducting the test is to use a direct incorporation composite. To speed up the drying process in the material, the material as a catalyst is mixed with 1% of the polyester volume. The results obtained from the highest bending stress testing on 35% microalgae are 10.65 MPa, 30% at 7.79 MPa, and 40% at 0.94 MPa. For the results obtained from the highest thermal conductivity testing on graphite 10%, are 20.05 watts / m.K, graphite 5% at 19.96 watts / m.K, and on graphite 0% at 19.89 watts / m.K.

Keywords: Phase Change Material, polyester, Chitosan Waste, Tropical Microalgae, Graphite, Direct Incorporation

1. Pendahuluan

Indonesia memegang peranan penting dalam pasar energi global yang terus diperkirakan akan mengalami peningkatan. Indonesia juga merupakan salah satu negara dengan konsumen energi terbesar di Asia Tenggara yaitu sebesar 36% dari kebutuhan energi kawasan. Semakin tingginya pertumbuhan ekonomi di Indonesia, maka semakin tinggi pula energi yang dibutuhkan terutama konsumsi pada energi listrik hingga mencapai 491 *terawatt hours* (TWh) di tahun 2030. Diperkirakan, juga kapasitas pada pembangkit listrik perlu bertambah sebesar 4,1 *gigawatts* (GW) per tahun, dimana 50 % dari total kapasitas terpasang baru adalah PLTU Batubara [1].

Peningkatan kebutuhan *energy final* yang tinggi perlu ditangani dengan menerapkan upaya konservasi

energi oleh pemerintah maupun masyarakat setempat dengan penetapan langkah yang bijak dan tepat. Diperkirakan sampai pada tahun 2025, pengurangan intensitas energi sebanyak 1% per tahun menjadi target serius bagi pemerintah yaitu dengan cara melakukan penghematan energi khususnya pada sektor perekonomian, dan menghemat jumlah konsumsi *energy final* (TFC-total final consumption) sebesar 17 % di tahun 2025 [2].

Pada sektor komersial, total jumlah penggunaan energi listrik pada bangunan terutama untuk konsumsi pendinginan udara (AC), pencahayaan, dan penyediaan air merupakan salah satu penyokong terbesar dalam upaya penggunaan energi. Dimana, penyebab dari hal tersebut ialah semakin terjadinya

pertumbuhan ekonomi terutama pada sektor perdagangan, perindustrian, perbankan, perhotelan, dan bahkan pada badan pemerintahan yang menyebabkan semakin meningkatnya aktivitas atau kegiatan ekonomi terhadap konsumsi energi listrik.

Oleh sebab itu, diciptakanlah material yang dapat menyerap dan menyimpan energi khususnya energi panas ketika ada surplus dan melepaskannya ketika ada defisit menggunakan prinsip *Latent Heat Thermal Energy Storage (LHTES)* disebut bahan berubah fase (*Phase Change Material/PCM*). PCM telah menunjukkan potensi yang besar sebagai pilihan yang berharga untuk sistem energi masa depan [3].

Hal ini disebabkan karena PCM dapat diaplikasikan pada rentang suhu yang luas (dari di bawah $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ hingga di atas $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$) dan cocok diterapkan pada berbagai desain sistem penyimpanan panas. Penyimpanan panas laten menggunakan teknik material berubah fase telah menjadi salah satu pertimbangan bagi para peneliti dikarenakan kelebihanannya dalam proses penyimpanan energi yang berkapasitas besar dan skala perubahan suhu yang relatif kecil. Penyimpanan panas laten dapat dicapai melalui fase perubahan wujud padat-padat, padat-cair, padat-gas, dan gas-cair. Namun, sistem padat-cair lebih unggul secara ekonomi menarik untuk digunakan sebagai sistem penyimpanan energi panas [4].

Dari uraian di atas diketahui bahwa banyak peneliti telah mengeksplorasi penggunaan bahan organik sebagai PCM untuk berbagai aplikasi, namun hampir tidak dapat ditemukan penggunaan lipid dari mikroalga tropika sebagai bahan PCM untuk sistem penyimpanan panas (*TES*). Lipid dari mikroalga tropika memiliki potensi yang menjanjikan sebagai PCM disebabkan karena secara umum kandungan lemaknya yang cukup tinggi, yaitu sekitar 20%-50% dan pada beberapa spesies hingga mencapai 70% dari berat tubuhnya. Mikroalga tropika juga diharapkan dapat menjadi salah satu pertimbangan bahan dalam pembuatan PCM, dikarenakan jumlah kandungan asam lemak yang cukup tinggi dan juga mudah ditemukan maupun dikembangkan tanpa membutuhkan lahan yang luas.

Dalam keadaan wujud cair, PCM diharuskan menggunakan metode enkapsulasi (menyalut inti) dengan ukuran yang sangat kecil. Perubahan fisik, panas, dan senyawa kimia sebagian besar mikrokapsul mempunyai resistensi terhadap perubahan tersebut. Secara biokimiawi maupun penggunaan larutan alkali merupakan *chitosan*, yaitu chitin yang terdestilasi melalui hidrolisis perubahan bentuk struktur. Karena tingginya biokompabilitas dan memiliki karakteristik

yang baik, salah satunya ialah sifat *biodegradable*, anti bakteri dan sejenisnya, maka mikroenkapsulasi *chitosan* menjadi banyak dipelajari dan dijadikan bahan PCM, khususnya pada keperluan bahan bangunan [5].

Adapun beberapa perumusan masalah yang akan ditetapkan, yaitu:

- Bagaimana pengaruh fraksi volume dari grafit dan mikroalga tropika terhadap sifat mekanis yaitu tegangan lentur dan konduktivitas termal dari komposit PCM.

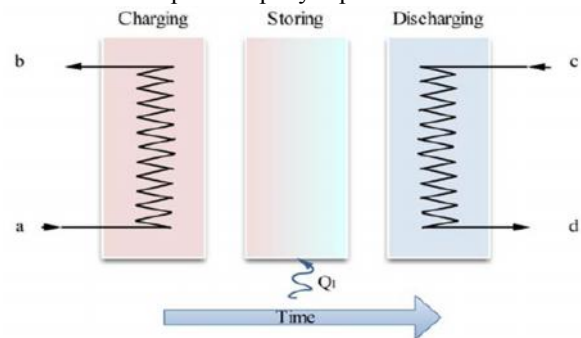
Adapun beberapa batasan masalah yang akan ditetapkan. Diantaranya adalah:

- Bentuk dan ukuran butir dari limbah chitosan, mikroalga tropika, dan grafit diasumsikan sama.
- Penelitian ini menggunakan bahan dan langkah cara yang sesuai dengan alat pengujian.
- Penelitian ini menggunakan kecepatan pengaduk pada saat pencetakan komposit sebesar 100 rpm dengan holding time selama ± 15 menit.

2. Dasar Teori

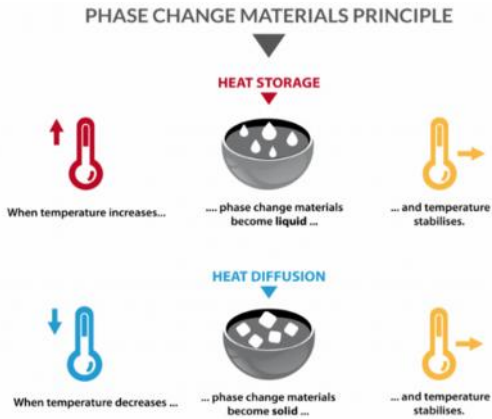
Para peneliti telah banyak mengeksplorasi penggunaan berbagai bahan PCM baik dengan cara organik, anorganik maupun eutektik sebagai bahan dalam sistem penyimpanan panas (*TES*) [6]. Penyimpanan energi panas (*Thermal Energy Storage/TES*) didefinisikan sebagai suatu sistem untuk penyimpanan energi sementara dimana energi tersebut dapat dalam wujud panas atau dingin yang nantinya dapat dimanfaatkan kembali [7].

Setidaknya ada tiga langkah dalam sistem penyimpanan energi yaitu: pengisian, penyimpanan dan pemakaian. Dalam sistem, beberapa langkah dapat terjadi secara bersamaan (misalnya *charging* dan *storing*) dan setiap langkah dapat terjadi lebih dari satu kali dalam setiap siklus penyimpanan.



Gambar 1. Tiga proses dalam sistem *Thermal Energy Storage (TES)* (Ascione, 2014)

Sistem *LHTES (Latent Heat Thermal Energy Storage)* menyimpan energi dalam PCM, dengan energi panas yang disimpan saat perubahan fase, biasanya dari padat ke cair (misalnya: energi diperlukan untuk mengubah es menjadi air, mengubah air menjadi uap dan melelehkan lilin parafin) [8].



Gambar 2. Skematis Dari Proses Perubahan Fase Pada PCM (Kalmæs, 2015)

PCM organik memiliki sejumlah karakteristik yang menjadikannya berguna untuk penyimpanan panas laten pada elemen bangunan tertentu. Bahan ini lebih stabil secara kimia dari pada zat anorganik, tidak korosif, memiliki panas laten yang tinggi per satuan berat, dapat didaur ulang, dapat mencair dengan sendirinya dan menunjukkan sedikit atau tanpa sub cooling, tidak perlu didinginkan di bawah titik beku untuk memulai kristalisasi.

Pada penelitian ini material berubah fase yang digunakan adalah mikroalga tropika dan *chitosan*. Dikarenakan pada mikroalga mengandung lemak yang cukup tinggi sehingga memiliki potensi untuk dijadikan sumber asam lemak. Mikroalga tropika tersebut juga memiliki titik leleh dengan temperatur 53°C-75°C. Sedangkan *Chitosan* merupakan biopolimer polisakarida selulosa alami ditulang luar dari hewan laut, yang menarik karena memiliki karakteristik yang unik dan fungsi sifatnya yang beragam, dan juga sumbernya yang melimpah di alam, dapat selalu diperbaharui, dapat terurai secara alami, tidak menyebabkan racun, tidak terdapat efek alergi yang ditimbulkan, biokompatible khususnya sebagai material *reinforcement* (penguat).

Untuk meningkatkan kinerja PCM dalam mentransfer panas, perlu untuk menentukan konduktivitas termal dari PCM/komposit PCM. Konduktivitas termal dari sampel dapat diukur dengan metode stabil steady-state dan non-steady. Dalam metode steady state, pengukuran dilakukan ketika suhu material tidak berubah dengan waktu. Dalam

metode non-steady state, pengukuran dilakukan selama proses pemanasan seiring dengan fungsi waktu.

Benda uji terdiri brass, copper, aluminium dan stainless steel dengan tebal 20 mm dan diameter 30 mm.

Energi daya listrik yang terjadi pada heater di berikan oleh persamaan:

$$W = V \times I \quad (1)$$

W = Daya listrik (watt)

V = Tegangan listrik (volt)

I = Arus listrik (ampere)

Dan persamaan untuk Perpindahan panas yang terjadi:

$$\dot{q} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2)$$

K = Koefisien perpindahan panas konduksi (Watt/m.K)

A = Luas penampang benda uji (m²)

dT = Beda temperature (K)

dx = Jarak antar titik uji (T1 dan T2)

q = laju perpindahan panas (watt)

Untuk kasus ini W = q (watt)

Uji lentur merupakan pengujian yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan terhadap bending atau pembengkokan. Pengujian bending ini didasarkan pada “*Standard Methods of Tension Testing of Metallic Materials*” dari ASTM Designation 790-03. Persamaan untuk Pengujian tegangan bending yang terjadi:

Panjang spesimen (p) = 120 mm

Lebar spesimen (l) = 15 mm

Tebal spesimen (t) = 7 mm

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

σ_L = Tegangan lentur (MPa)

P = Beban (N)

L = Support Span (mm)

b = Lebar benda uji (mm)

d = Tebal benda uji (mm)

3. Metode Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan peralatan dan bahan sebagai berikut:

- Alat cetak komposit, Mixer,
- Thermokopel, Stopwatch,
- Data Acquisition (TD 1002A)
- Mesin uji lentur (Bending ASTM D790-03)
- Timbangan digital, Avometer
- Gelas ukur, Grafit
- Mikroalga Tropika

- Limbah serbuk chitosan
- Polyester Yucalac 157 BQTN-EX & katalisator

Proses pembuatan komposit *PCM* dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Serbuk limbah Chitosan dengan fraksi volume yang telah ditentukan dicampur dengan grafit dan Mikroalga tropika serta polyester (1% hardener dari 30% polyester) yang fraksi volumenya juga telah ditentukan sesuai dengan rancangan penelitian berdasarkan perhitungan massa, dan massa jenis dari volume cetakan komposit tersebut.

- Semua bahan tersebut diaduk dengan merata selama ± 15 menit menggunakan metode pencampuran langsung (*Direct Incorporation*) dengan mixer dengan kecepatan 100 rpm pada temperatur suhu ruang.

- Bahan yang sudah tercampur dimasukkan ke dalam cetakan dan dibiarkan dalam cetakan selama 24 jam.

- Komposit yang terbentuk kemudian dikeluarkan dari cetakan dan selanjutnya dilakukan pengujian. Proses pengujian bending komposit *PCM* dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Melakukan pencatatan dimensi awal dari spesimen meliputi panjang awal (*L*), tebal (*t*), lebar (*l*), dan luas penampang awal (*A₀*).

- Meletakkan spesimen pada bantalan, tempatkan spesimen sehingga posisikan pas tengah dari material pada alat bending. Jika perlu tandai tengah dari material dengan sepidol.

- Menurunkan bending secara perlahan hingga ujung penekan mengenai material selanjutnya turunkan alat bending secara perlahan agar menekan spesimen ke bawah.

- Pengujian dilakukan hingga material mengalami perubahan bentuk sesuai bentuk yang akan diinginkan dari pengujian spesimen tersebut dan amati permukaannya.

- Menghentikan penambahan beban dan lepas spesimen dari mesin pengujian bending bila spesimen sudah mengalami perubahan bentuk.

- Lakukan langkah yang sama pada pengujian spesimen berikutnya.

Proses pengujian konduktivitas termal komposit *PCM* dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Siapkan alat *Linier Heat Conduction Experiment* (TD1002A)

- Posisikan alat ukur temperatur

- Alirkan air melalui selang

- Pasang spesimen uji I pada alat

- Hidupkan power listrik

- Hidupkan komputer

- Input daya

- Tunggu sampai keadaan steady, baca temperatur T1, T2, T3 pada komputer.

- Catat hasil temperatur pada tabel.

Berikut merupakan tabel hasil perhitungan massa bahan:

Tabel 1. Komposisi material Untuk Uji Bending

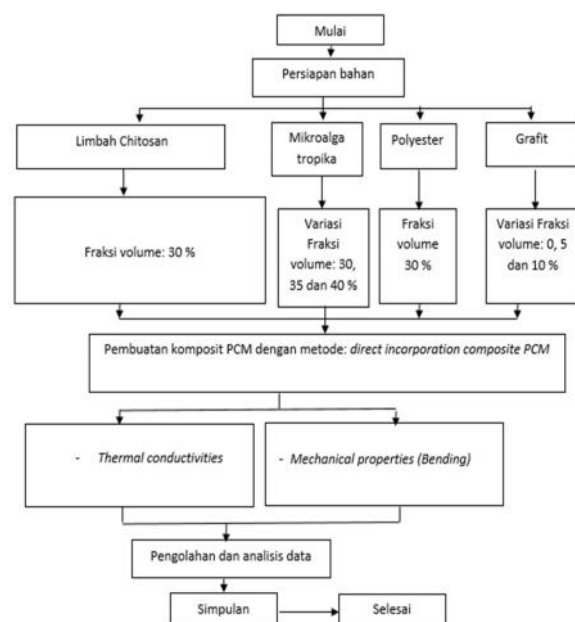
Variasi Fraksi Volume (%)	Limbah Chitosan (gr)	Mikroalga tropika (gr)	Polyester (gr)	Grafit (gr)
30 : 30 : 30 : 10	1,13	3,48	4,57	2,86
30 : 35 : 30 : 5	1,13	4,06	4,57	1,43
30 : 40 : 30 : 0	1,13	4,64	4,57	0

Tabel 2. Komposisi material Untuk Uji Konduktivitas Termal

Variasi Fraksi Volume (%)	Limbah Chitosan (gr)	Mikroalga tropika (gr)	Polyester (gr)	Grafit (gr)
30 : 30 : 30 : 10	1,27	3,90	5,13	3,21
30 : 35 : 30 : 5	1,27	4,55	5,13	1,61
30 : 40 : 30 : 0	1,27	5,20	5,13	0

3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian eksperimental yang dirancang diperlihatkan pada gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

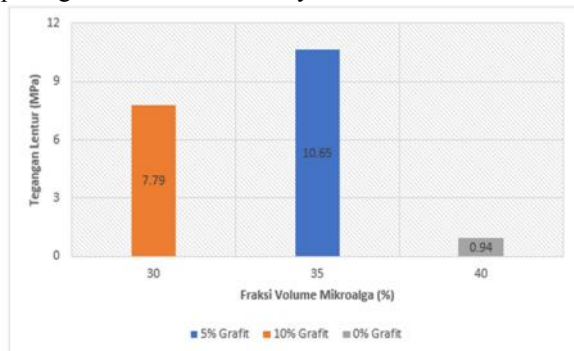
4.1 Pengujian Bending

Uji lentur merupakan pengujian yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan terhadap *bending* atau pembengkokan pada suatu material ketika diberikan beban.

Tabel 3. Tabel hasil Uji Bending

No	Polyester (%)	Chitosan (%)	Mikroalga Tropika (%)	Grafit (%)	Hasil Uji Bending			Kode
					σ_L (MPa)	ϵ_L (mm/mm)	E_L (MPa)	
1	30	30	30	10	7.79	0.03	261.81	B
2			35	5	10.65	0.03	360.33	A
3			40	0	0.94	0.06	15.58	C

Pada tabel 3. Yang meliputi hasil dari pengujian bending, yaitu: tegangan bending, regangan bending, dan modulus elastisitas bending dengan masing-masing menggunakan variasi dari polyester, limbah chitosan, mikroalga tropika, dan grafit dimana persentase mikroalga yang selalu meningkat tetapi pada grafit berlaku sebaliknya.



Gambar 4. Grafik Hubungan Tegangan Lentur, Fraksi Volume Mikroalga dan Grafit

Pada grafik 4. Menunjukkan bahwa seiring bertambahnya fraksi volume mikroalga nilai tegangan lentur yang didapatkan cenderung tidak stabil bahkan mengalami penurunan pada saat material spesimen C diberikan perlakuan. Nilai rata-rata tertinggi terhadap tegangan lentur sendiri terjadi pada fraksi volume 35% dimana yaitu sebesar 10,65 MPa, dan pada fraksi volume 30% didapatkan nilai dengan rata-rata tegangan lentur sebesar 7,79 MPa, dan untuk nilai rata-rata tegangan lentur pada fraksi volume 40% yaitu sebesar 0,94 MPa. Semakin bertambah banyaknya serat yang diberikan, maka menyebabkan dimensi komposit akan semakin besar pula, dan tegangan lenturnya akan ikut melemah karena hanya bertumpu pada serat saja tanpa ada pengikat yang kuat dan

menyebabkan ikut melemahnya material pengikat (*filler*) tersebut.

4.2 Pengujian Konduktivitas Termal

Pengujian Konduktivitas Termal dengan menggunakan alat *linier heat conduction experiment* (TD1002A) bertujuan untuk mencari dan meneliti nilai konduktivitas pada material maupun perpindahan panas khususnya pada spesimen material berubah fasa seperti campuran polyester, limbah chitosan, mikroalga, dan grafit.

Tabel 4. Tabel hasil uji Konduktivitas Termal

Waktu (s)	Kondisi Pengujian		Daya Pemanas (W)	Termokopel T1 - T3			Termokopel T4 - T7			
	Temperatur Lingkungan (°C)	Deskripsi Material		T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T6 (°C)	T7 (°C)
900	20	Grafit 5%	33	40.9	40.6	40.3	36.6	33.3	33.3	33.3
900	20	Grafit 10%	33	34.3	34	33.7	29.1	28	28	27.9
900	20	Grafit 0%	33	37.4	37.1	36.7	30.9	28.8	28.7	28.7
Jarak dari T1 (m)				0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1	0.12

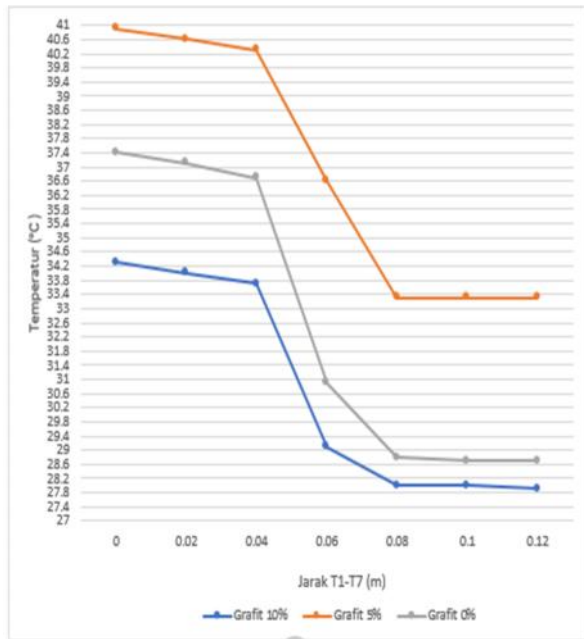
Data hasil penelitian pada tabel 4. Didapatkan setelah melakukan penelitian serta pengamatan sesuai dengan metodologi yang tertera dan disajikan pada tabel berikut yang meliputi hasil dari pengujian konduktivitas termal dari setiap spesimen. Data pengujian yang dilakukan nantinya terhadap spesimen dengan masing-masing variasi fraksi volume yang berbeda akan menghasilkan data pengujian yang berbeda.

Pengambilan data dapat dikontrol interval durasinya pada aplikasi yang digunakan di *software* komputer. Panas mengalir dari pangkal batang ke ujung batang dengan menggunakan tujuh buah termokopel yang dihubungkan ke batang untuk dilakukannya pembacaan nilai suhu pada jarak-jarak tertentu pada batang.

Sensor pertama terletak pada pangkal batang agar membaca data pada suhu T1, Sensor kedua terletak 20 mm dari T1 dan membaca nilai suhu T2, Sensor ketiga terletak 40 mm dari pangkal batang dan membaca nilai suhu T3, sensor keempat terletak 60 mm dari pangkal batang dan membaca nilai suhu T4, sensor kelima terletak 80 mm dari pangkal batang dan membaca nilai suhu T5, sensor keenam terletak 100 mm dari pangkal batang dan membaca nilai suhu T6, sensor ketujuh terletak 120 mm dari pangkal batang dan membaca nilai suhu T7.

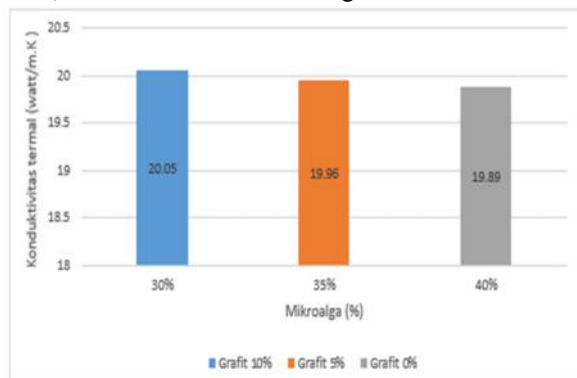
Pengambilan data juga menggunakan durasi waktu selama 15 menit per spesimen dengan pengambilan data setiap 2 detik sehingga data yang dapat diambil sebanyak 450 jumlah data. Dengan alasan, karena perpindahan panas khususnya pada suhu spesimen tidak dapat lagi mengalami fase

perubahan terhadap waktu yang signifikan (hampir konstan) sehingga kondisi dapat dikatakan *steady state* pada waktu menit ke-15. Sebelumnya, pengambilan data juga diukur pada kuat arusnya menggunakan alat avometer agar mendapatkan perhitungan pada daya input pemanas yang ingin diberikan.



Gambar 5. Grafik Perubahan Suhu Terhadap Jarak Konduktivitas Termal Menit 15

Pada gambar 5. Merupakan grafik perbandingan dari tiap-tiap sampel dengan grafik tertinggi dimiliki oleh spesimen mikroalga 35%, kemudian mikroalga 40%, dan terakhir ialah mikroalga 30%.



Gambar 6. Grafik Hasil Pengujian Konduktivitas Termal Tiap Spesimen

Pada grafik 6. Menyatakan bahwa data dari ketiga tabel dan setiap perhitungan yang telah disajikan dengan sampel yang masing-masing berbeda, maka dapat dikatakan bahwa material dengan nilai

konduktivitas termal yang terkecil ialah pada spesimen mikroalga 40%, yaitu dengan nilai 19.89 watt/m.K, dan untuk spesimen mikroalga 35%, yaitu dengan nilai 19.96 watt/m.K, dan yang dengan nilai konduktivitas tertinggi ialah pada spesimen mikroalga 30%, yaitu dengan nilai 20.05 watt/m.K.

5. Kesimpulan

Adapun simpulan yang dapat ditarik berdasarkan seluruh tahapan penelitian yang telah dilakukan dari pengaruh fraksi volume mikroalga dan grafit terhadap konduktivitas termal dan kekuatan bending *Phase change material* adalah sebagai berikut:


- Semakin bertambah banyaknya serat yang diberikan, maka menyebabkan densitas komposit akan semakin besar pula, dan menimbulkan void sehingga tegangan lenturnya akan ikut melemah karena tanpa ada material pengikat yang kuat menyebabkan ikut melemahnya material pengikat (*filler*) tersebut.
- Semakin tinggi persentase grafit pada material tersebut maka, semakin meningkatnya juga nilai konduktivitas termal material tersebut.

Daftar Pustaka

- [1] Agency for Natural Resources and Energy, 2017, *Key World Energy Statistic*, IEA International Energy Agency.
- [2] Almajali, M., Lafdi, K., & Prodhomme, P. H, 2013, *Effect Of Copper Coating On Infiltrated PCM/Foam*, Energy Conversion and Management, Vol. 66, pp. 336–342.
- [3] Xu, X., Cui, H., Memon, S. A., Yang, H., & Tang, W., 2017, *Development Of Novel Composite PCM For Thermal Energy Storage Using Cacl₂·6H₂O With Graphene Oxide And Srcl₂·6H₂O*, Energy and Buildings, Vol. 156, pp. 163–172.
- [4] Boussaba, L., Foufa, A., Makhlof, S., Lefebvre, G., & Royon, L., 2018, *Elaboration And Properties Of A Composite Bio-Based PCM For An Application In Building Envelopes*, Construction and Building Materials, Vol. 185, pp. 156–165.
- [5] Fachrirozi M., Priscilia V., Setyawan T. B., Abudzar R., Jenderal D., & Tinggi P, 2013, *Dengan Material Baru Perubah Fase*

Berbahan Dasar Lipid Dari Mikroalga Tropika.

- [6] Cascone Y., Perino M, 2015, ***Estimation Of The Thermal Properties Of Pcms Through Inverse Modelling***, Energy Procedia, 78, pp. 1714–1719.
- [7] Pudjiastuti W, 2011, ***Jenis-Jenis Bahan Berubah Fasa dan Aplikasinya***, Jurnal Kimia Dan Kemasan, Vol. 33 No 1, pp. 118.
- [8] Nizetić S., Arıci M., Bilgin F., Grubišić-Čabo F, 2018, ***Investigation Of Pork Fat As Potential Novel Phase Change Material For Passive Cooling Applications In Photovoltaics***, Journal of Cleaner Production, Vol. 170, pp. 1006–1016.

	<p>James Limantara, Menyelesaikan studi Program Sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2016 sampai 2020. Ia menyelesaikan studi dengan topik penelitian Pengaruh Fraksi Volume Mikroalga Tropika Dan Grafit Pada Limbah Chitosan Terhadap Konduktivitas Termal Dan Kekuatan Bending Komposit PCM.</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati adalah topik – topik yang berkaitan dengan konversi energi, <i>renewable energy</i>, dan manufaktur.</p>	

Performansi Evaporative Cooling Dengan Penggunaan *In-Line* Dry Pad Sebagai Pre-Air Cooling Pada Evaporator

Anak Agung Gde Baskara Putra, Hendra Wijaksana, Wayan Nata Septiadi
Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Pemanfaatan sistem pendingin sistem kompresi uap sangat luas dan memerlukan energi listrik yang cukup besar dan dapat menyebabkan kerusakan lingkungan, sehingga dilakukan inovasi peningkatan efisiensi energi pada sistem pendingin AC berbasis kompresor dengan penggunaan *In-Line Solid Dry Pad (SDP)* sebagai pendinginan awal udara pada evaporator. Penelitian ini dilakukan dengan variasi udara dengan kecepatan udara $V_1=2,1\text{m/s}$, $V_2=2,54\text{m/s}$, dan $V_3=2,94\text{m/s}$ dengan pencatatan data setiap 15 menit sekali dalam kurung waktu 1 jam. Dimana setiap pengujian variasi aliran udara temperatur dalam kabin diatur pada temperatur 30°C . Hasil dari penelitian ini didapatkan daya yang dibutuhkan kompresor pada pengujian dengan menggunakan SDP dengan pengaturan laju aliran udara $2,1\text{m/s}$ lebih besar dibandingkan dengan kecepatan aliran udara $2,54\text{m/s}$ dan $2,94\text{m/s}$, karena membutuhkan waktu yang cukup lama untuk mencapai temperatur kabin, sehingga konsumsi daya kompresor dengan menggunakan SDP yang tersusun secara *In-Line Solid Dry Pad* pada variasi kecepatan aliran udara $2,94\text{m/s}$ lebih efektif $0,99\%$ dapat mengurangi kerja evaporator dan kompresor dibandingkan tanpa menggunakan SDP.

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

Abstract

The utilized of vapor compression cooling systems is very extensive and requires considerable electrical energy and can cause environmental damage, so an innovation is made to improve energy efficiency in compressed-based AC cooling systems by using *In-Line Solid Dry Pad (SDP)* as the pre cooling of air to the evaporator. This research was carried out with variations in air with air velocity $V_1 = 2.1\text{ m/s}$, $V_2 = 2.54\text{ m/s}$, and $V_3 = 2.94\text{ m/s}$ by recording data every 15 minutes in 1 hour brackets. Where every temperature variation in the air flow test in the cabin is set at a temperature of 30°C . The results of this study found that the power needed by the compressor in testing using SDP with a variation of air flow velocity of 2.1 m/s is greater than the air flow velocity of 2.54 m/s and 2.94 m/s , because it requires sufficient time takes a long time to reach cabin temperature, so that the compressed power consumption using SDP arranged in the *In-Line Solid Dry Pad* at a variation of air flow velocity of 2.94 m/s is more effective 0.99% can reduce the work of evaporators and compressors compared without using SDP.

Keywords: Air conditioning, in-line solid dry pad

1. Pendahuluan

Penggunaan sistem pendingin berbasis kompresor telah sangat meluas saat ini, seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan kenyamanan dalam ruangan kantor, hotel, Gedung apartemen. Indonesia dengan iklim yang panas dan humid yang memerlukan penggunaan energi pendingin yang cukup besar untuk mencapai tingkat kenyamanan. Untuk itu diperlukan langkah-langkah efisiensi energi untuk sistem pendinginan, yang diharapkan dapat mengurangi kebutuhan energi input untuk pendinginan tanpa harus mengurangi performansi dari sistem pendingin ini tu sendiri. Berdasarkan hal tersebut diatas, maka dalam penelitian kali ini akan dilakukan usaha peningkatan efisiensi energi pada sistem pendingin AC berbasis kompresor dengan penggunaan indirect evaporative cooling sebagai pendingin awal udara evaporator. Diharapkan dengan adanya pendinginan awal oleh SDP pada sisi udara masuk evaporator mampu mengurangi kapasitas panas yang harus diserap atau didinginkan oleh evaporator, sehingga nantinya mampu mengurangi kerja kompresor.

Dalam hal ini maka ada beberapa permasalahan yang akan dikaji, yaitu: bagaimana performansi sistem pendingin menggunakan SDP yang tersusun in line sebagai pendingin awal udara masuk evaporator terhadap variasi kecepatan aliran udara?

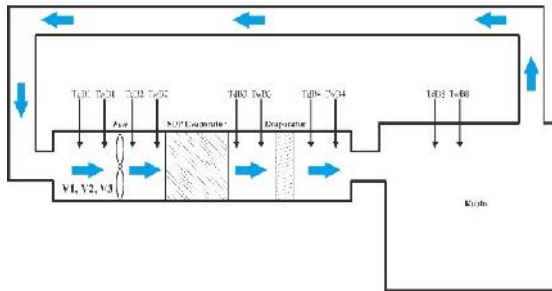
Beberapa batasan ditetapkan dalam penelitian ini meliputi:

1. Waktupengujian dilakukan selama 1 jam.
2. Temperatur awal ruangan diatur pada $T = 30^\circ\text{C}$.
3. Ruangan yang didinginkan dianggap terisolasi sempurna.
4. Semua performansi AC didapat secara experimental dari sisi udara.
5. SDP yang digunakan berbahan dasar Dry Ice yang sering dijual dipasaran.

2. Dasar Teori

Dalam sistem pendingin, evaporator merupakan komponen yang berfungsi menyerap panas ruangan untuk pendinginan. Disini perlu diketahui untuk ukuran kabin panjang 200 cm, lebar 120 cm, dan tinggi 120 cm.

Dapat dilihat untuk aliran udara pada alat pengujian yang digunakan ditunjukkan dalam gambar di bawah ini.



Gambar 1. Skematik diagram alir penelitian

Pada gambar 1 merupakan skematik distribusi aliran udara pada evaporator, dimana dapat dilihat *in – line solid dry pad* diletakan pada awal udara masuk evaporator. Jika distribusi aliran udara dianggap terisolasi sempurna, persamaan yang digunakan untuk mencari laju aliran kalor pada evaporator yaitu:

$$q_{\text{evaporator}} = \dot{m} \cdot CP \cdot \Delta T \quad (1)$$

$q_{\text{evaporator}}$ = Laju aliran kalor (kJ/s)

\dot{m} = air mass flowrate (kg/s)

CP = Specific heat ($kJ/kg K$)

Untuk laju aliran massa udara harus di masukkan dalam persamaan (1) di atas. Jadi untuk mencari laju aliran massa udara digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\dot{m} = \rho_{\text{Udara}} \cdot A \cdot V_{\text{udara}} \quad (2)$$

$$\dot{m} = \rho_{\text{Udara}} \cdot Q \quad (3)$$

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

ρ_{Udara} = Massa jenis udara (kg/m^3)

A = Luas penampang saluran udara (m^2)

V_{udara} = Kecepatan udara (m/s)

Q = Laju aliran volume udara (m^3/s)

Coefficient of performance sistim pendingin dapat dituliskan seperti perumusan pada persamaan dibawah :

$$COP_{\text{evaporator}} = \frac{q_{\text{evap}} + q_{\text{SDPevap}}}{w_{\text{total}}} \quad (4)$$

COP = Coefficient of performance (kJ/s)

q_{evap} = Kapasitas pendinginan evap (kJ/s)

q_{sdpevap} = Kapasitas pendinginan SDP evap (kJ/s)

W_{total} = Konsumsi Daya (kJ/s)

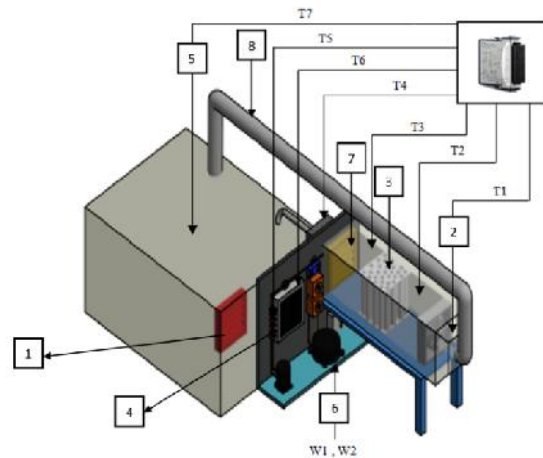
3. Metode Penelitian

Penelitian dan pengujian diperlukan beberapa alat dan bahans ebagai berikut:

1. *AC (air conditioning)* yang digunakan adalah *air conditioning* yang sudah ada di Lab Konversi Energi Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana)
2. *In – line solid dry pad* (penempatan *dry ice*)
3. *Thermometer* digital (digunakan untuk mengukur temperature pada alat pengujian)

4. *Anemometer* digital (digunakan untuk mengukur kecepatan aliran udara)
5. *Clamp meter* (digunakan untuk mengukur arus *ampere*)
6. *Stop watch* (digunakan untuk mencatat waktu selama pengujian)
7. *Dry ice* (eskering)
8. *Heater* (digunakan untuk mengatur temperature awal ruangan/ kabin)

Pada Gambar 1 menunjukkan pengujian dengan menggunakan *in – line solid dry pad* secara skematik dan menunjukkan penempatan alat ukur *thermometer* digital untuk pengambilan data temperatur.



Gambar 2. Skematik pengujian dengan menggunakan *in – line solid dry pad*

Keterangan:

- T1 = temperatur udara inlet fan
- T2 = temperatur inlet SDP (Evaporator)
- T3 =temperatur inlet evaporator/ Temperatur outlet SDP (Evaporator)
- T4 = Temperatur keluar evaporator
- T5 = Temperatur masuk kondensor
- T6 = Temperatur keluar kondensor
- T7 = Temperaturruangantercapai

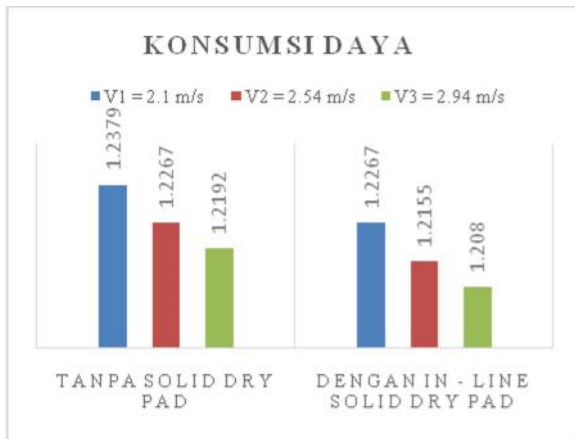
Keterangan:

1. Heater
2. Fan
3. Solid Dry Pad
4. Kondensor
5. Kabin
6. Kompresor
7. Evaporator
8. Saluran udara masuk

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Kecepatan aliran udara dan konsumsi daya tanpa menggunakan *in – line solid dry pad* dan dengan menggunakan *in – line solid dry pad*

Dari hasil pengukuran yang telah dilakukan, didapatkan rata-rata variasi kecepatan aliran udara V1, V2, V3 masing-masing 2.1 , 2.54 dan 2.94 m/s .



Gambar 3. Grafik perbandingan konsumsi daya tanpa menggunakan *in-line solid dry pad* dan dengan menggunakan *in-line solid dry pad*

Dari gambar 3 diatas dapat dilihat perbandingan konsumsi daya tanpa menggunakan *in-line solid dry pad* dan dengan menggunakan *in-line solid dry pad*. Konsumsi daya tanpa menggunakan *in-line SDP* pada kecepatan aliran udara 2.1 m/s sebesar 1.2379 kW sedangkan konsumsi daya dengan menggunakan *in-line SDP* sebesar 1.2267 kW. Konsumsi daya tanpa menggunakan *in-line SDP* pada kecepatan aliran udara 2.54 m/s sebesar 1.2267 kW sedangkan konsumsi daya dengan menggunakan *in-line SDP* sebesar 1.2155 kW. Konsumsi daya tanpa menggunakan *in-line SDP* pada kecepatan aliran udara 2.94 m/s sebesar 1.2192 kW sedangkan konsumsi daya dengan menggunakan *in-line SDP* sebesar 1.208 kW.

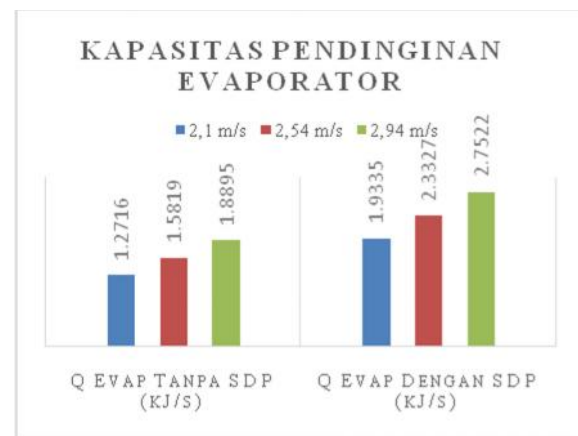
Jadi, konsumsi daya tanpa menggunakan *in-line SDP* dan dengan menggunakan *in-line SDP* yaitu, pada kecepatan aliran udara V_1 , V_2 , dan V_3 lebih rendah sebesar 0.91 %. Jadi penggunaan *in-line solid dry pad* yang diletakkan pada awal udara masuk evaporator dapat membantu mengurangi kerja kompresor menjadi lebih rendah dibandingkan tanpa menggunakan SDP.

4.2. Kapasitas pendinginan pada evaporator

Dari hasil pengukuran yang telah dilakukan kapasitas pendinginan pada evaporator tanpa menggunakan *in-line SDP* dan dengan menggunakan *in-line SDP* didapatkan grafik seperti Gambar 5 di bawah ini.

Dari gambar 4 merupakan grafik batang kapasitas pendinginan pada evaporator tanpa menggunakan *in-line solid dry pad* dan dengan menggunakan *in-line solid dry pad*. Kapasitas pendinginan dengan menggunakan SDP pada awal evaporator pada variasi kecepatan aliran udara 2,1 m/s, 2,54 m/s, dan 2,94 m/s lebih tinggi 1,52%, 1,47%, dan 1,45% dibandingkan dengan kapasitas pendinginan tanpa menggunakan SDP. Jadi penggunaan SDP yang tersusun secara In-Line yang diletakkan pada awal evaporator dapat membantu meningkatkan kapasitas pendinginan pada sistem AC. Udara lebih cepat tersirkulasi untuk didinginkan

kembali oleh SDP dan evaporator sehingga dapat mengurangi beban pendinginan pada evaporator AC dan kerja kompresor menjadi lebih berkurang tanpa mengurangi performansi sistem pendinginan.

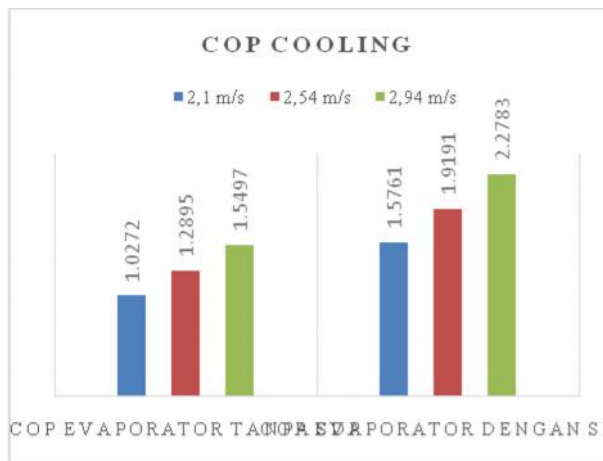


Gambar 4. Grafik perbandingan kapasitas pendinginan pada evaporator tanpa menggunakan *in-line solid dry pad* dan dengan menggunakan *in-line solid dry pad*

Dari gambar 4 merupakan grafik batang kapasitas pendinginan pada evaporator tanpa menggunakan *in-line solid dry pad* dan dengan menggunakan *in-line solid dry pad*. Kapasitas pendinginan dengan menggunakan SDP pada awal evaporator pada variasi kecepatan aliran udara 2,1 m/s, 2,54 m/s, dan 2,94 m/s lebih tinggi 1,52%, 1,47%, dan 1,45% dibandingkan dengan kapasitas pendinginan tanpa menggunakan SDP. Jadi penggunaan SDP yang tersusun secara In-Line yang diletakkan pada awal evaporator dapat membantu meningkatkan kapasitas pendinginan pada sistem AC. Udara lebih cepat tersirkulasi untuk didinginkan kembali oleh SDP dan evaporator sehingga dapat mengurangi beban pendinginan pada evaporator AC dan kerja kompresor menjadi lebih berkurang tanpa mengurangi performansi sistem pendinginan.

4.3. Coefficient of performance evaporator

Dari hasil analisa untuk COP pada evaporator dapat dilihat pada grafik pada Gambar 5 di bawah ini. Pada gambar 5 merupakan grafik batang COP *cooling* perbandingan antara menggunakan SDP dan tanpa menggunakan SDP pada awal evaporator. COP evaporator dengan SDP pada variasi kecepatan aliran udara 2,1 m/s lebih tinggi 1,53% dibandingkan COP evaporator tanpa SDP. Sedangkan, COP evaporator dengan SDP pada variasi kecepatan aliran udara 2,54 m/s lebih tinggi 1,48% dibandingkan COP evaporator tanpa SDP. Pada Variasi laju udara 2,94 m/s dengan menggunakan SDP lebih tinggi 1,47% dibandingkan COP evaporator tanpa menggunakan SDP. Jadi penggunaan *in-line solid dry pad* yang diletakkan pada awal evaporator dapat meningkatkan COP dari sistem AC, dimana udara menjadi lebih cepat tersirkulasi dan didinginkan kembali oleh SDP dan evaporator.



Gambar 5. Grafik COP pada evaporator tanpa menggunakan *in-line solid dry pad* dan dengan menggunakan *in-line solid dry pad*

	<p>Anak Agung Gde Baskara Putra Menyelesaikan studi program sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2015 sampai 2019. Ia menyelesaikan studi program sarjana dengan topik penelitian Performansi Sistem Pendingin Dengan Penggunaan In Line Solid Dry Pad sebagai Pendinginan Awal Udara Pada Evaporator.</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan konversi energidan manajemen energi.</p>	

5. Kesimpulan

Dari Hasil pemelitian variasi kecepatan aliran udara 2,1 *m/s*, 2,54 *m/s*, dan 2,94 *m/s* dapat disimpulkan beberapa hal antara lain:

1. Pada konsumsi daya dengan menggunakan SDP lebih rendah 0,91 % dibandingkan tanpa SDP.
2. Pada Kapasitas pendinginan pada evaporator dengan memanfaatkan SDP pada laju udara 2,1; 2,54; dan 2,94m/s lebih tinggi 1,52%, 1,47%, dan 1,45% dibandingkan tanpa menggunakan SDP
3. Pada COP cooling dengan menggunakan SDP pada varisi kecepatan aliran udara 2,1 *m/s*, 2,54 *m/s*, dan 2,94 *m/s* lebih tinggi 1,53%, 1,48%, dan 1,47% dibandingkan tanpa menggunakan SDP

Daftar Pustaka

- [1] Arfidian Rachman, Sulaiman, & Syafrul Hadi, 2018, *Improved Performance of the Vapor Compression Cooling System Using A Combination of Condensers-Evaporative Cooling*, Vol. 8, pp. 22-26. Retrieved from <http://dx.doi.10.21063/JTM>.
- [2] Basaria Talarosha, 2005, *Menciptakan Kenyamanan Thermal Dalam Bangunan*. Sistem Teknik Industri Vol. 6, pp. 148-149.
- [3] Cahyo Hardanto, & Bambang Yuniarto, *Uji Prestasi Pendinginan Evaporasi Kontak Tidak Langsung (Indirect Evaporative Cooling) Dengan Variasi Temperatur Media Pendingin Air*.
- [4] Arismunandar, Saito H., 1986, *Penyegaran Udara*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.

Studi Analisa Komposisi Volume Grafit Terhadap Kekuatan Lentur Komposit PCM Kerak Lilin Dan Serat Sabut Kelapa

Gerhard Andreas, I Nyoman Suprpta Winaya, I Made Astika

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit Jimbaran, Bali

Abstrak

Sistem penyimpanan energi panas adalah salah satu teknologi PCM untuk menjadi cadangan energi panas yang aman dan terjangkau untuk sistem energi masa depan. Ini memunculkan inovasi dalam pembuatan komposit dengan menggunakan serat sabut kelapa sebagai penguatnya dan kerak lilin sebagai matriknya, serta grafit sebagai penghantar panasnya. Tujuan penelitian ini untuk mendapatkan karakteristik mekanik yaitu kekuatan bending, regangan, dan modulus elastisitas komposit PCM tersebut. Metode yang digunakan ialah metode penggabungan langsung dengan mencampurkan bahan-bahan tersebut tetapi mengukur dan menghitung berat dan massa jenisnya terlebih dahulu. Variasi pengujian yaitu fraksi volume dengan 30% serat sabut kelapa, 50% polyester, 20%, 15%, 10% kerak lilin dan 0%, 5%, 10% grafit. Dari hasil penelitian kekuatan lentur yang dilakukan, hasil tertinggi sebesar 14,42 MPa pada spesimen B dan yang terendah 2,5 MPa pada spesimen C.. Jadi komposisi sangat mempengaruhi hasil kekuatan lentur suatu komposit.

Kata Kunci: PCM, Poliester, Serat Sabut Kelapa, Kerak Lilin, Grafit, Kekuatan Lentur, Konduktivitas Termal

Abstract

The thermal energy storage system is one of the PCM technologies to be a safe and affordable heat energy reserve for future energy systems. This gave rise to innovations to making composites using coconut fiber as reinforcement and wax crust as a matrix, and graphite as heat conductor. The purpose of this research is to obtain mechanical characteristics are bending strength, strain, and modulus of elasticity of the PCM composite. The method used is a direct combination method by mixing the ingredients but measuring and calculating the weight and density first. Variation of the test is the volume fraction with 30% coconut fiber, 50% polyester, 20%, 15%, 10% waxy crust and 0%, 5%, 10% graphite. From the results of the flexural strength research conducted, the highest yield is 14.42 MPa in specimen B and the lowest is 2.5 MPa in specimen C. For thermal conductivity results, the highest yield is 19.92 watt / m.K in specimen B and the lowest yield is 19.8 watt / m.K in specimen C. So the composition greatly influences the yield of the flexural strength of a composite.

Keywords: PCM, Polyester, Coconut Fiber, Wax Crust, Flexural Strength

1. Pendahuluan

Di tahun 2020 ini, masih banyak manusia menggunakan sumber daya yang berasal dari fosil yaitu minyak bumi dan batubara. Penggunaan yang berasal dari fosil akan berdampak pada lingkungan seperti air dan udara, dan perubahan iklim akibat pemanasan global. Pemakaian yang terus menerus dan kebutuhan yang besar akan membuat cadangan dari fosil mentah di bumi semakin menurun dan diperkirakan akan habis pada tahun 2030 nantinya) [1].

Sebuah cara atau alternatif yang dapat mengganti fosil yaitu adalah energi listrik. Energi listrik ialah energi utama yang dibutuhkan bagi peralatan listrik atau energi yang tersimpan dalam arus listrik dengan satuan ampere (A) dan tegangan listrik volt (V) dengan konsumsi daya listrik watt (W) untuk menggerakkan suatu peralatan mekanik dan menghasilkan energi lain. Energi ini bisa didapat dan diperoleh dari sistem

pembangkit seperti dari PLTU, PLTB, PLTS dan lain-lain. Langkah bijak lainnya adalah dengan mengembangkan dan menghemat penggunaan energi tersebut [2].

Sistem penyimpanan energi panas (*Thermal Energy Storage/TES*) dapat memberikan fleksibilitas dan pemanfaatan yang baik untuk langkah kedepannya. Penggunaannya juga dapat menghemat energi dan bisa sebagai cadangan panas yang aman dan terjangkau dalam sistem energi masa depan. Material yang dapat menyerap dan menyimpan energi khususnya energi panas ketika ada surplus dan melepaskannya ketika ada defisit menggunakan prinsip *Latent Heat Thermal Energy Storage (LHTES)* disebut bahan berubah fase (*Phase Change Material/PCM*). PCM telah menunjukkan potensi yang besar sebagai pilihan yang berharga untuk sistem energi masa depan. Hal ini disebabkan karena PCM

dapat diaplikasikan pada rentang suhu yang luas (dari di bawah -30°C hingga di atas 1000°C) dan cocok diterapkan pada berbagai desain sistem penyimpanan panas. Oleh sebab itu, diciptakanlah material yang dapat menyerap dan menyimpan energi khususnya energi panas ketika ada surplus dan melepaskannya ketika ada defisit menggunakan prinsip *Latent Heat Thermal Energy Storage (LHTES)* disebut bahan berubah fase (*Phase Change Material/PCM*) [3].

Penyimpanan kalor pada PCM sendiri mempunyai keunggulan pada kepadatan material, dikarenakan *heat of fusion* pada proses peleburan jauh lebih daripada kalor sensible atau panas spesifikasinya. PCM dapat dimanfaatkan salah satunya untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energy listrik. PCM sendiri dapat dibagi menjadi tiga kelompok berdasarkan komposisi kimia, yaitu senyawa organik, senyawa anorganik dan eutektik. PCM sendiri bisa digunakan sebagai penyimpanan panas untuk digunakan ketika matahari tidak tersedia, untuk aplikasi memanaskan air panas atau bangunan [4].

Penerapan PCM pada komposit adalah suatu metode yang memiliki kelebihan dibandingkan dengan metode yang lainnya. Kemampuan komposit dalam menyerap dan menyimpan bahan PCM juga dipengaruhi oleh ukuran butir dari partikel penyusun komposit. Semakin kecil/halus ukuran butir, tingkat serapan semakin baik. Perbandingan berbagai unsur-unsur penyusun komposit terutama material yang berfungsi sebagai penyerap bahan PCM juga sangat berpengaruh terhadap kemampuan komposit tersebut dalam menyimpan bahan PCM. Semakin tinggi kandungan bahan tersebut dalam komposit, semakin besar kemampuannya dalam menyerap/menyimpan bahan PCM. Persyaratan yang lain adalah konduktivitas termal dari bahan PCM yang digunakan [5].

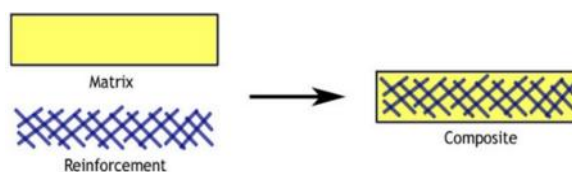
Diketahui belum ada yang penggunaannya menggunakan kerak lilin (*wax crust*) sebagai bahan PCM untuk penyimpanan panas (TES) tersebut. Penggunaan PCM kerak lilin sepertinya sangat menjanjikan dan sesuai sebagai bahan untuk kemampuan penyimpanan panas. Kerak lilin mempunyai temperatur leleh yang cukup tinggi yaitu sekitar $50-68^{\circ}\text{C}$. Untuk pemakaian kompositnya juga belum ada yang menggunakan serat sabuk kelapa, dan dapat digunakan sebagai penguat pembuatan komposit. Sabuk kelapa adalah material yang sangat bagus juga karena mempunyai serat yang tinggi yang bagus untuk memperkuat campuran PCM dan lainnya sehingga material baru tersebut tidak gampang retak atau getas.

Hal ini yang perlu untuk menguji karakteristik mekanik seperti bending dan konduktivitas termalnya [6].

2. Metode Penelitian

2.1 Bahan Penelitian

Limbah sabut kelapa dipilih sebagai serat dan dipotong-potong dengan ukuran yang sudah ditentukan kemudian dicampur dengan grafit dan kerak lilin yang sudah dihaluskan berbentuk serbuk (diparut), polyester (1% hardener dari 50% polyester) dengan ukuran volume dan massa yang sudah ditentukan melalui fraksi volume sebelumnya sesuai dengan rancangan penelitian berdasarkan perhitungan massa, dan massa jenis dari volume cetakan komposit tersebut. Setelah dicampurkan dengan menggunakan metode langsung, kemudian semua bahan tersebut dipanaskan dengan *mesin magnetic stirrer* hingga mencapai suhu 60°C dengan *holding time* 10 menit dengan kecepatan pengaduk 600 rpm. Bahan yang sudah tercampur dimasukkan ke dalam cetakan dan dibiarkan dalam cetakan selama 24 jam dengan suhu ruang. Komposit yang terbentuk kemudian dikeluarkan dari cetakan dan selanjutnya dilakukan pengujian.



Gambar 1. Ilustrasi Perpaduan Komposit

2.2 Uji Kekuatan Lentur

Untuk mengukur kekuatan lentur, dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

Melakukan pencatatan dimensi awal dari spesimen meliputi panjang awal (L), tebal (t), lebar (l), dan luas penampang awal (A_0). Meletakkan spesimen pada bantalan, tempatkan spesimen sehingga ditengah dari material spesimen sejajar dengan alat bending. Jika perlu tandai tengah dari material dengan sepidol. Menurunkan bending secara perlahan sehingga ujung penekan mengenai material selanjutnya turunkan alat bending secara perlahan agar mendesak spesimen ke bawah. Pengujian dilakukan hingga material mengalami perubahan bentuk sesuai bentuk yang akan diinginkan dari pengujian spesimen tersebut dan amati permukaannya. Menghentikan penambahan beban dan lepas spesimen dari mesin pengujian bending bila spesimen sudah mengalami perubahan bentuk.

Melakukan perhitungan Tegangan, Regangan, dan Modulus Elastisitasnya.

Perhitungan kekuatan lentur menggunakan persamaan pada standar ASTM D790-03

Panjang total (L) = 120 mm

Lebar total (b) = 15 mm

Tebal (d) = 7 mm

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

σ_L = Tegangan bending (MPa)

P = Beban (N)

L = Support Span (mm)

b = Lebar benda uji (mm)

d = Ketebalan benda uji (mm)

Persamaan untuk Pengujian regangan bending yang terjadi:

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

L = Regangan Bending (mm/mm)

δ = Defleksi Benda Uji (mm)

L = Support Span (mm)

d = Tebal benda Uji (mm)

Persamaan untuk Pengujian modulus elastisitas bending yang terjadi:

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

E_L = Modulus Elastisitas Lentur (MPa)

L = Support Span (mm)

b = Lebar benda uji (mm)

d = Tebal benda uji (mm)

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



Gambar 2. Uji Kekuatan Lentur

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengujian Kekuatan Lentur

Uji lentur merupakan pengujian yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan terhadap *bending* atau pembengkokan pada suatu material ketika diberikan beban. Hasil data yang diperoleh dari pengujian bending dimana meliputi dari tegangan (σ_L), regangan (ϵ_L), dan modulus elastisitasnya (E_L). Masing-masing spesimen menggunakan variasi campuran yang berbeda, seperti spesimen A yang terdiri dari

campuran serat sabut kelapa, polyester, grafit, kerak lilin secara berurut yaitu 30%, 50%, 0%, 20%. Spesimen B terdiri dari campuran 30%, 50%, 5%, dan 20%. Sedangkan spesimen C terdiri dari campuran 30%, 50%, 10%, dan 10%.

Tabel 1. Tabel hasil Uji Bending/Lentur

No	Serat Sabut Kelapa (%)	Poliest er (%)	Grafit (%)	Kerak Lilin (%)	Hasil Uji Bending			Kode
					σ_L (MPa)	ϵ_L (MPa)	E_L (MPa)	
1	30	50	0	20	7,79	0,03	261,81	A
2			5	15	10,65	0,03	360,33	B
3			10	10	0,94	0,06	15,58	C

3.2 Tegangan Bending

- Spesimen A

Dimana: P (beban) = 46,387 N

L (panjang span) = 6 cm ~ 60 mm

$$\begin{aligned} \sigma_{LA} &= \frac{3P.L}{2b.d^2} \\ &= \frac{3 \times 46,387 \times 60}{2 \times 15 \times 7^2} \\ &= \frac{8349,66}{1470} = 5,68 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Spesimen B

Dimana: P (beban) = 116,14 N

L (panjang span) = 6 cm ~ 60 mm

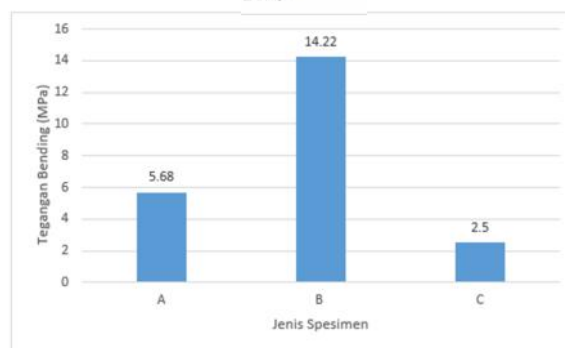
$$\begin{aligned} \sigma_{LB} &= \frac{3P.L}{2b.d^2} \\ &= \frac{3 \times 116,14 \times 60}{2 \times 15 \times 7^2} \\ &= \frac{20905,2}{1470} = 14,22 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Spesimen C

Dimana: P (beban) = 20,49 N

L (panjang span) = 6 cm ~ 60 mm

$$\begin{aligned} \sigma_{LC} &= \frac{3P.L}{2b.d^2} \\ &= \frac{3 \times 20,49 \times 60}{2 \times 15 \times 7^2} \\ &= \frac{20905,2}{1470} = 2,50 \text{ MPa} \end{aligned}$$



Gambar 3. Grafik Hubungan Tegangan Lentur dengan Jenis Spesimen

Diketahui bahwa jenis komposit A adalah komposit campuran dari 0% grafit dan 20% kerak lilin. memiliki tegangan bending sebesar 5.68 MPa. Jenis komposit B campuran 5% grafit dan 15% kerak lilin memiliki tegangan bending 14.22 MPa,

sedangkan C adalah campuran 10% grafit dan 10% kerak lilin mempunya tegangan bending 2.5 MPa.

3.3 Regangan Bending

- Spesimen A

Dimana: δ (defleksi) = 0,6182 mm

L (panjang span) = 6 cm ~ 60 mm

$$L_A = \frac{6\delta \cdot d}{L^2} = \frac{6 \times 0,6182 \times 7}{60^2} = \frac{25,9644}{3600} = 0,00721 \sim 0,007$$

- Spesimen B

Dimana: δ (defleksi) = 1,1765 mm

L (panjang span) = 6 cm ~ 60 mm

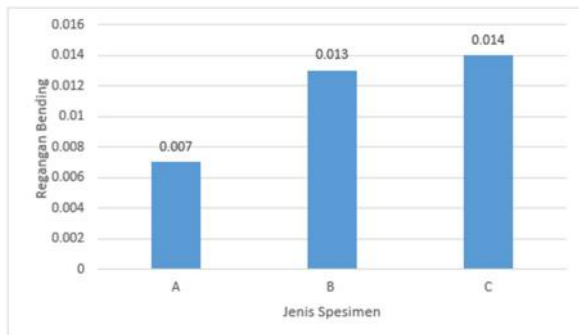
$$L_B = \frac{6\delta \cdot d}{L^2} = \frac{6 \times 1,1765 \times 7}{60^2} = \frac{49,413}{3600} = 0,0132 \sim 0,013$$

- Spesimen C

Dimana: δ (defleksi) = 1,2363 mm

L (panjang span) = 6 cm ~ 60 mm

$$L_C = \frac{6\delta \cdot d}{L^2} = \frac{6 \times 1,2363 \times 7}{60^2} = \frac{51,9246}{3600} = 0,0144 \sim 0,014$$



Gambar 4. Grafik Hubungan Regangan Lentur dengan Jenis Spesimen

Diketahui bahwa jenis komposit A adalah komposit campuran dari 0% grafit dan 20% kerak lilin memiliki regangan bending sebesar 0.007. Jenis komposit B campuran 5% grafit dan 15% kerak lilin memiliki regangan bending 0.013, sedangkan C adalah campuran 10% grafit dan 10% kerak lilin mempunya regangan bending 0.014. Hasil ini dilihat berbeda dengan tegangan yang specimen B dan C akan meningkat.

3.4 Modulus Elastisitas

- Spesimen A

Dimana: $m = \frac{46,38}{0,618} = 75,04$ MPa

L (panjang span) = 6 cm ~ 60 mm

$$E_{LA} = \frac{L^3 \cdot m}{4b \cdot d^3} = \frac{60^3 \times 75,04}{4 \times 15 \times 7^3} = \frac{16208640}{20580} = 787,59 \text{ MPa}$$

- Spesimen B

Dimana: $m = \frac{116,14}{1,1765} = 98,71$ MPa

L (panjang span) = 6 cm ~ 60 mm

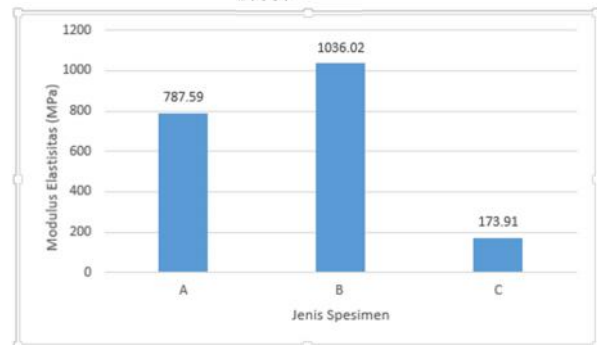
$$E_{LB} = \frac{L^3 \cdot m}{4b \cdot d^3} = \frac{60^3 \times 98,71}{4 \times 15 \times 7^3} = \frac{21321360}{20580} = 1036,02 \text{ MPa}$$

- Spesimen C

Dimana: $m = \frac{20,49}{1,2363} = 16,57$ MPa

L (panjang span) = 6 cm ~ 60 mm

$$E_{LC} = \frac{L^3 \cdot m}{4b \cdot d^3} = \frac{60^3 \times 16,57}{4 \times 15 \times 7^3} = \frac{3579120}{20580} = 173,91 \text{ MPa}$$



Gambar 6. Grafik Hubungan Modulus Lentur, dengan Jenis Spesimen

Diketahui bahwa jenis komposit A adalah komposit campuran dari 0% grafit dan 20% kerak lilin. memiliki modulus elastisitas sebesar 787.59 MPa. Jenis komposit B campuran 5% grafit dan 15% kerak lilin memiliki modulus elastisitas sebesar 1036.02 MPa, sedangkan C adalah campuran 10% grafit dan 10% kerak lilin mempunya modulus elastisitas 173.91 MPa. Hasil ini dilihat bahwa dari komposit A ke B mengalami kenaikan, tetapi pada kondisi C mengalami penurunan yang sangat drastis.

4. Kesimpulan

Nilai tegangan bending tertinggi terjadi pada specimen B dimana spesimen tersebut gabungan dan campuran dari fraksi volume grafit sebesar 5% dan kerak lilin 15% yaitu sebesar 14,22 MPa dan terendah pada spesimen C yang fraksi volume grafitnya 10% dan paraffin 10% sebesar 2,50%. Tegangan bending

mengalami peningkatan dari spesimen A ke spesimen B, dan mengalami penurunan dari spesimen B ke spesimen C. Semakin kuat nilai tegangan bending pada suatu komposit PCM semakin baik juga ketahanan getas tersebut.

Daftar Pustaka

- [1] Almajalih M., Lafdi K., & Prodhome P. H., 2013, *Effect of infiltrated PCM/foam, Energy Conversion and Management*, vol. 66, pp. 336–342.
- [2] Karaipeklik A., & Sari A., 2009, *Capric-Myristic Vermiculite Composite As Form-Stable Phase Change Material For Thermal Energy Storage*. *Solar Energy*, vol. 83, No.3, pp. 323–332.
- [3] Naazir H., Batol M., Bolivar Osorio F. J., Isaza-Ruiz M., Xu X., Vignarooban K., Kannan A. M., 2019, *Recent Developments In Phase Change Materials For Energy Storage Applications*, A review. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 129, pp. 491–523.
- [4] Ramakrishan S., Sanjayan J., Wang X., Alam M., & Wilson J., 2015, *A Novel Paraffin/Expanded Perlite Composite Phase Change Material For Prevention Of PCM Leakage In Cementitious Composites*, *Applied Energy*, vol. 157, pp. 8594.
- [5] Thaib R., Fauzi H., Ong H. C., Rizal, S., Mahlia T. M. I., & Riza M., 2018, *Thermal Characteristic Investigation Of Eutectic Composite Fatty Acid As Heat Storage Material For Solar Heating And Cooling Application*, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 334.
- [6] Umar M. M., Zhang Y., Iqbal K., Zhang S., & Tang B., 2019, *Novel Strategies And Supporting Materials Applied To Shape-Stabilize Organic Phase Change Materials For Thermal Energy Storage—A review*, *Applied Energy*, vol. 235.

	<p>Gerhard Andreas, Sepanjang menyelesaikan studi Program Sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2016 sampai 2020. Ia menyelesaikan studinya dengan topik penelitian Analisa Pengaruh Variasi Fraksi volume Grafit Terhadap Kekuatan lentur Dan Konduktivitas Termal Komposit PCM Dengan Bahan Serat Sabut Kelapa Dan Kerak Lilin</p>
<p>Bidang-bidang penelitian yang diminati adalah topik – topik yang berkaitan dengan konversi energi, <i>renewable energy</i>, dan manufaktur.</p>	

Karakteristik Fisik Dan Mekanik Panel *Green Composite* Serat Pelepah Pisang Resin Getah Pinus Dengan Variasi Fraksi Volume

Putri Wahyu N.A. , C.I.P.K Kencanawati, I Wayan Surata
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Dengan majunya perkembangan jaman, maka permintaan furniture juga akan semakin meningkat. *Green composite* dapat menjadi alternatif bahan untuk furniture, karena itu penelitian tentang bahan alam semakin banyak. Bahan alam yang dapat dijadikan bahan pembuatan komposit adalah getah pinus dengan serat pelepah pisang. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui karakteristik fisik dan mekanik *green composite* serat pelepah pisang dan getah pinus dengan memvariasikan fraksi volume 5%, 10%, 15%. Pengujian yang dilakukan adalah densitas (ASTM D792-08), kekuatan bending (ASTM D790-03), dan SEM. Hasil uji densitas *green composite* serat pelepah pisang dengan resin getah pinus berkisar antara 1,0318 g/cm³ sampai dengan 1,0044 g/cm³. Data hasil uji kekuatan bending menunjukkan spesimen dengan variasi serat 15% memiliki nilai kekuatan bending paling tinggi, yaitu tegangan 6,776 MPa, regangan 0,047, dan modulus elastisitas 116,322 MPa. Hasil SEM menunjukkan bahwa dari pengikat dan matriks telah terjadi ikatan yang sempurna.

Kata kunci : *green composite*, getah pinus, serat pelepah pisang

Abstract

With the development of the era, furniture demand is increasing. *Green composite* can be an alternative material for furniture, therefore more and more research on natural materials. One of the natural ingredients that can become a composite is pine resin with banana fiber. This research aims to determine the physical and mechanical characteristics of *green composite* banana fiber and pine resin by varying the volume fraction of 5%, 10%, 15%. Tests performed are density (ASTM D792-08), bending strength (ASTM D790-03), and SEM. The results of the *green composite* density test of banana fiber with pine resin ranged from 1.0318 g/cm³ to 1.0044 g/cm³. The data of bending test results showed that the specimens with 15% fiber variation had the highest bending strength values, 6.776 MPa stress, 0.047 strain, and elastic modulus 116,322 MPa. SEM results show that from the filler and the matrix has occurred a perfect bond.

Keywords : *green composite*, pine resin, banana fibers

1. Pendahuluan

Berkembangnya suatu properti, tentu sejalan dengan permintaan furniture yang merangkak naik tajam. Seperti yang kita ketahui, banyak furniture yang terbuat dari *particle board*. *Particle board* sendiri terbuat dari partikel sisa kayu. Dengan adanya permintaan yang amat tinggi, menjadi penyebab kita harus mencari alternatif bahan dari partikel sisa kayu tersebut.

Salah satu sumber serat diluar partikel kayu, yang belum banyak digunakan adalah serat dari pelepah pisang. Serat pelepah pisang mempunyai potensi untuk menjadi alternatif dari partikel sisa kayu untuk furniture. Salah satu alasan penggunaan serat pelepah pisang pada penelitian ini karena serat pelepah pisang memiliki serat yang berkualitas cukup baik. Pembuatan bahan baku furniture dari bahan alternatif ini akan mengaplikasikan serat pelepah batang pisang dan getah pinus.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui densitas dan kekuatan bending dari *green composite* serat pelepah pisang dan getah pinus dengan memvariasikan fraksi volume 5%, 10%, 15%. Pengujian yang dilakukan adalah densitas (ASTM D792-08), kekuatan bending (ASTM D790-03), dan SEM.

2. Dasar Teori

2.1 Green Composite

Komposit adalah sebuah material yang terbuat dari dua atau lebih material penyusun dengan sifat fisik maupun kimia yang sangat berbeda, yang di dalam struktur komposit akhir, masing-masing penyusun tetap terpisah dan dapat dibedakan pada skala makroskopis maupun mikroskopis. Sementara itu, *green composite* adalah kombinasi dari beberapa material, dimana satu material adalah material yang terbuat dari bahan alam [1].

2.2 Serat Pelepah Pisang

Musaceae adalah suku untuk tumbuhan berdaun besar memanjang, pisang adalah salah satu tanaman yang berada pada golongan *Musaceae*. Pisang akan tumbuh dengan baik pada daerah yang lembab serta beriklim tropis panas, terutama pada dataran rendah. Serat pelepah pisang jika sudah dikeringkan akan memiliki tekstur yang berserabut dan berpori. Batang pisang memiliki potensi untuk dikembangkan menjadi bahan baku *particle board* jika dilihat dari anatomi seratnya, disamping itu serat pelepah pisang mempunyai potensi serat yang berkualitas baik [2].

2.3 Getah Pinus

Getah pinus yang dihasilkan pohon pinus termasuk kedalam jenis oleoresin yang merupakan cairan asam resin. Cara mendapatkan getah pinus

adalah dengan penyadapan. Pohon pinus bisa mulai disadap untuk mendapatkan getahnya pada umur 10 tahun. Proses penyadapan ini memakan waktu sekitar 15 hari hingga dapat dipanen getahnya, dan berikutnya getah disaring dari kotorannya. Pada proses panen pohon pinus dapat menghasilkan getah hingga sebesar 7,42 gram/hari/pohon [3].

2.4 Uji Density

Densitas didefinisikan sebagai kerapatan suatu zat yang dapat diukur dengan membandingkan massa benda dengan volumenya (ASTM D792-08)

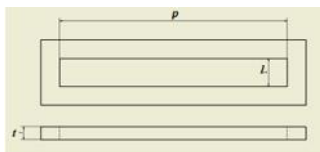
$$\rho = \frac{ms}{mb - (mg - mk)} \times \rho_{H_2O} \quad (1)$$

Keterangan :

- ρ = massa jenis benda (gr/cm^3)
- ms = massa spesimen kering (gr)
- mb = massa spesimen basah (gr)
- mg = massa spesimen digantung dengan kawat didalam air (gr)
- mk = massa kawat (gr)
- ρ_{H_2O} = massa jenis aquades (gr/cm^3)

2.5 Uji Bending

Salah satu bentuk pengujian untuk mengetahui kekuatan material saat menerima pembebanan adalah uji lengkung atau uji bending. Perhitungan kekuatan bending, menggunakan persamaan yang ada pada standar ASTM D790 - 03, yaitu:



Gambar 1. Dimensi spesimen uji bending

Keterangan:

- Panjang total = 120 mm
- Lebar total = 15 mm
- Tebal = 7 mm

Tegangan adalah hasil bagi antara gaya yang dialami dengan luas penampangnya, atau bisa juga didefinisikan sebagai gaya persatuan luas. Rumus tegangan bending (ASTM D790-03) adalah sebagai berikut :

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

Dimana :

- σ_L = Tegangan bending (MPa)
- P = Beban (N)
- L = Panjang span (mm)
- b = Lebar benda uji (mm)
- d = Tebal benda uji (mm)

Regangan adalah perbandingan antara pertambahan panjang spesimen dibagi dengan panjang span, rumus regangan bending (ASTM D790-03) sebagai berikut:

$$\epsilon_L = \frac{6\delta.d}{L^2} \quad (3)$$

Dimana:

- ϵ_L = Regangan bending (mm/mm)
- δ = Defleksi benda uji (mm)
- L = Panjang span (mm)
- d = Tebal benda uji

Modulus elastisitas ditentukan pada sepanjang garis elastis yang terjadi digaris tegangan ($\sigma_{elastis}$) dibagi dengan regangan ($\epsilon_{elastis}$) (ASTM D790-03)

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

Dimana :

- E_L = Modulus elastisitas bending (MPa)
- L = Support span (mm)
- b = Lebar benda uji (mm)
- d = Tebal benda uji (mm)
- m = Tangen garis lurus pada load deflection curve (N/mm)

3. Metode Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain :

3.1 Alat Penelitian

Penggunaan alat-alat dalam penelitian ini dapat dikelompokkan menjadi enam yaitu sebagai berikut :

1. Alat uji : Alat uji bending dengan menggunakan ASTM D790-03, uji densitas dengan ASTM D792-08, dan Uji SEM
2. Alat cetak : Menggunakan cetakan kayu dengan ukuran yang sesuai dengan ASTM kemudian dilapisi aluminium foil
3. Alat ukur : Gelas ukur, timbangan digital, piknometer, jangka sorong
4. Alat K3 : Masker, sarung tangan karet
5. Alat bantu : Aluminium foil, *magnetic stirrer*, besi pengaduk.
6. Alat pembersih : Minyak goreng, kuas, lap tangan.

3.2 Bahan Penelitian

1. Matrik : Getah pinus (Pinus Merkusii Jungh. et deVries).
2. Penguat : Serat batang pelepah pisang.
3. Material perlakuan serat : Dicuci dan dikeringkan dengan panas matahari, lalu di sisit agar menghasilkan serat. Dipotong sepanjang 5mm.
4. Material perlakuan getah : Dipanaskan pada mesin *magnetic heated stirrer* hingga mencapai suhu $170^{\circ}C$ dengan *holding time* 10 menit.

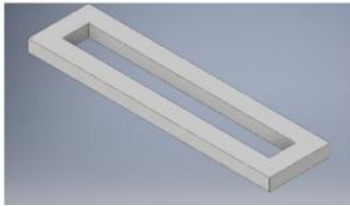
3.3 Massa Jenis Bahan Penelitian

Massa jenis serat pelepah pisang dan getah pinus perlu diketahui untuk menghitung perbandingan fraksi volume serat batang pelepah pisang dan getah pinus. Merujuk pada penelitian Saris Pebrianata (2018), rata rata serat pelepah batang pisang memiliki massa jenis sebesar $= 0,777 gr/cm^3$. Merujuk pada penelitian Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati (2017), getah pinus memiliki masa jenis sebesar $= 1,1 gr/cm^3$ [4].

3.4 Menghitung Massa Bahan

Menghitung volume cetakan dapat menggunakan rumus :

$$V_c = p \times l \times t \quad (5)$$



Gambar 2. Cetakan pengujian bending

Menghitung volume bahan

$$V_b = F_v \times V_c \quad (6)$$

Menghitung massa bahan

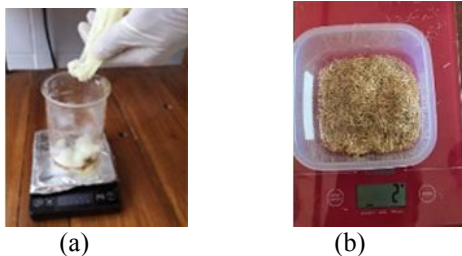
$$m_b = \rho_b \times V_b \quad (7)$$

Keterangan :

- V_c = volume cetakan (cm^3)
- V_b = volume bahan (cm^3)
- F_v = fraksi volume bahan (%)
- m_b = massa bahan (gr)
- ρ_b = densitas bahan (gr/cm^3)

3.5 Pembuatan Green Composite

1. Ukur getah pinus dan serat pelepah batang pisang sesuai dengan fraksi volume yang akan dibuat.



Gambar 3.(a) Pengukuran getah pinus
(b) Pengukuran serat pelepah pisang

2. Panaskan getah pinus pada mesin magnetic stirrer hingga mencapai suhu 170°C dengan holding time 10 menit dengan kecepatan pengaduk 600 rpm.



Gambar 4. Pemanasan getah pinus

3. Setelah mencapai temperatur 170°C atur kecepatan pengaduk ke 0 rpm (mati) dan tetap pertahankan panas dari getah pinus.



Gambar 5. Getah pinus mencapai temperature 170°C

4. Masukkan serat pelepah batang pisang ke dalam getah pinus yang masih panas dan aduk sampai getah pinus dan serat pelepah batang pisang tercampur dengan rata.



Gambar 6. Pencampuran getah pinus dengan serat pelepah pisang

5. Masukkan campuran getah pinus dan serat pelepah batang pisang ke dalam cetakan yang sudah dilapisi dengan aluminium foil.



Gambar 7. Cetakan uji bending yang telah dilapisi aluminium foil

6. Untuk pembuatan variasi spesimen selanjutnya, ulangi langkah langkah sebelumnya.
7. Setelah kering, papan partikel green composite dikeluarkan dari cetakan secara perlahan.



Gambar 8. Green composite yang telah kering

8. Papan partikel green composite yang kering siap untuk diuji.



Gambar 9. Green composite yang siap diuji bending

4. Hasil dan Pembahasan

Pengujian untuk penelitian ini meliputi uji density, uji bending, dan uji SEM. Hasil akhir yang didapat adalah tegangan, regangan, modulus elastisitas bending, densitas spesimen, dan gambar hasil uji SEM.

4.1 Hasil Uji Density

Uji density dilakukan pada masing masing spesimen yaitu spesimen variasi 5%, 10%, dan 15% dengan 3 kali pengulangan pada tiap variasi. Pengujian ini mengacu pada ASTM D792-08. Uji densitas dilakukan dengan cara merendam spesimen pada aquades selama 30 menit, kemudian ditimbang dengan menggunakan timbangan digital. Berikut adalah salah satu hasil perhitungan densitas dengan variasi fraksi volume 5% :

$$\begin{aligned} \text{Massa sampel kering (ms)} &= 1,74 \text{ g} \\ \text{Massa sampel dalam air (mg)} &= 0,90 \text{ g} \\ \text{Massa kawat (mk)} &= 0,84 \text{ g} \\ \text{Massa jenis aquades } (\rho_{H2O}) &= 0,997 \text{ g/cm}^3 \\ \text{Densitas sampel } (\rho) &= 1,0204 \text{ g/cm}^3 \\ \text{Massa sampel basah (mb)} &= 1,76 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\rho = \frac{ms}{mb - (mg - mk)} \times \rho_{H2O}$$

$$\rho = \frac{1,74}{1,76 - (0,90 - 0,84)} \times 0,997$$

$$\rho = \frac{1,74}{1,70} \times 0,997$$

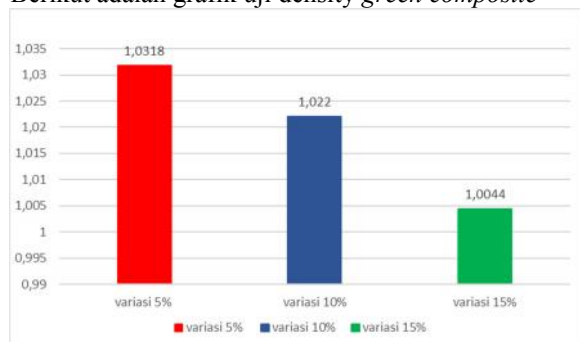
$$\rho = 1,0204 \text{ g/cm}^3$$

Setelah semua spesimen didapat massa jenisnya, maka akan dibuat dalam bentuk table. Berikut adalah hasil dari uji density

Table 1. Hasil Pengujian Densitas

Variasi	Sampel	mk (gr)	ms (gr)	mg (gr)	mb (gr)	ρ (g/cm ³)	Rata-rata (g/cm ³)
variasi 5% serat : 95% getah	1	0,84	1,74	0,90	1,76	1,0204	1,0318
	2	0,84	1,78	0,92	1,79	1,0378	
	3	0,84	1,80	0,93	1,82	1,0373	
variasi 10% serat : 90% getah	1	0,84	1,93	0,90	1,94	1,0235	1,0220
	2	0,84	1,88	0,89	1,89	1,0186	
	3	0,84	1,90	0,91	1,92	1,0239	
variasi 15% serat : 85% getah	1	0,84	1,77	0,87	1,79	1,0026	1,0044
	2	0,84	1,80	0,89	1,83	1,0082	
	3	0,84	1,79	0,87	1,81	1,0026	

Berikut adalah grafik uji density *green composite*



Gambar 10. Grafik uji density

Dapat dilihat variasi spesimen memiliki nilai densitas paling tinggi adalah spesimen dengan variasi fraksi

volume serat 5%, memiliki nilai sebesar 1,0318 gr/cm^3 . Spesimen dengan variasi fraksi volume serat 10%, memiliki nilai sebesar 1,022 gr/cm^3 . Sedangkan nilai densitas yang paling rendah adalah spesimen dengan variasi fraksi volume serat 15%, yaitu 1,0044 gr/cm^3 . Hal ini terjadi karena, getah yang berada pada *green composite* dengan variasi fraksi volume serat 15% lebih sedikit dibanding dengan spesimen yang lain. Tentu dengan semakin sedikitnya getah, maka massa jenis dari spesimen juga ikut menurun, karena spesimen didominasi oleh serat yang massa jenisnya sebesar 0,777 gr/cm^3 .

4.2 Hasil Uji Bending

Uji bending dilakukan pada masing masing spesimen yaitu spesimen variasi 5%, 10%, dan 15% dengan 3 kali pengulangan pada tiap variasi. Pengujian ini mengacu pada ASTM D790-03. Alat yang digunakan pada uji bending kali ini yaitu alat uji mekanik tensilon dengan tipe RTG 1250.



Gambar 11. Alat uji Tensilon RTG 1250

Salah satu hasil dari perhitungan tegangan, regangan, dan modulus elastisitas uji bending, *green composite* serat pelepah pisang dengan resin getah pinus variasi 5% sebagai berikut. :

Tegangan Bending

$$\sigma_L = \frac{3P.L}{2b.d^2}$$

$$= \frac{3 \times 29,143 \times 40}{2.15.7^2}$$

$$= \frac{3497,16 \text{ N}}{1470 \text{ mm}^2}$$

$$= 2,379 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 2,379 \text{ MPa}$$

Regangan Bending

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

$$= \frac{6 \times 1,575 \times 7}{40^2}$$

$$= \frac{66,15}{1600}$$

$$= 0,041$$

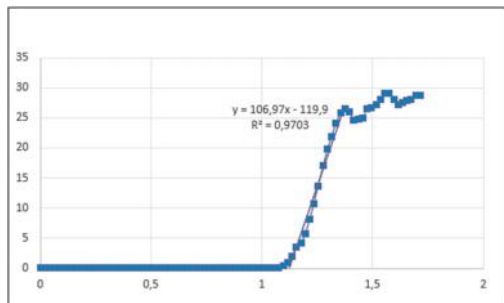
Modulus Elastisitas

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

$$= \frac{40^3 \times 106,97}{4 \times 15 \times 7^3}$$

= 332,6569 MPa

Hasil dari perhitungan uji bending spesimen *green composite* selanjutnya akan ditunjukkan pada table berikut :

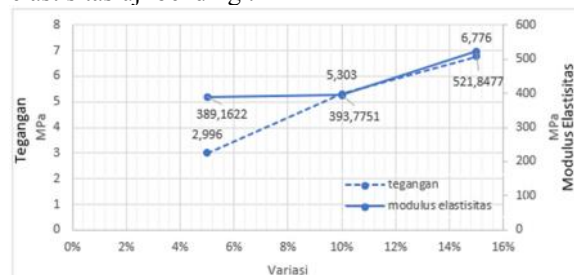


Gambar 12. Mencari nilai m

Table 2. Hasil uji bending

Spesimen	Penguji Bending			
	σ_L (MPa)	ϵ_L	E_L (MPa)	
Variasi 5% serat	A	2,377	0,041	332,6569
	B	2,731	0,020	324,4781
	C	3,881	0,023	510,3518
rata-rata	2,996	0,028	389,1622	
Variasi 10% serat	A	5,307	0,037	474,7133
	B	4,908	0,047	317,6054
	C	5,695	0,052	389,0068
rata-rata	5,303	0,045	393,7751	
Variasi 15% serat	A	6,132	0,049	417,7415
	B	6,839	0,052	427,1953
	C	7,357	0,041	720,6064
rata-rata	6,776	0,047	521,8477	

Berikut adalah grafik tegangan dan modulus elastisitas uji bending :

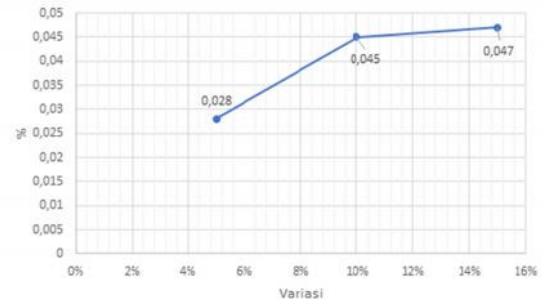


Gambar 13. Grafik tegangan dan modulus elastisitas uji bending

Grafik diatas menyatakan bahwa semakin tinggi fraksi volume serat, dapat berpengaruh pada tegangan beding yang semakin tinggi, ditunjukkan pada fraksi volume 5% serat, besar tegangan bending yaitu 2,996 MPa, lebih kecil dibanding fraksi volume 10% serat, yang sebesar 5,303 MPa. Untuk fraksi volume 15% serat, besarnya tegangan bending yaitu 6,776 MPa, terlihat lebih tinggi dari fraksi volume 5% serat, serta fraksi volume 10% serat. Semakin banyak serat yang digunakan, maka tegangan bendingnya akan semakin naik. Naiknya tegangan disebabkan *green composite* yang memiliki banyak serat mampu menahan beban yang akan diberikan kepada spesimen, dimana beban akan ditahan oleh serat, dan didistribusikan secara merata pada semua bagian spesimen.

Spesimen *green composite* dengan variasi serat 15% memiliki besaran modulus elastisitas yang paling tinggi yaitu 521,8477 MPa. Spesimen *green composite* dengan variasi serat 10% memiliki besaran modulus elastisitas sebesar 393,7751 MPa. Sedangkan nilai modulus elastisitas yang paling

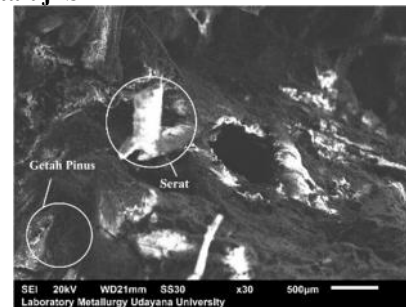
rendah terdapat pada spesimen *green composite* dengan variasi serat 5% dengan besaran modulus elastisitas bending sebesar 389,1622 MPa.



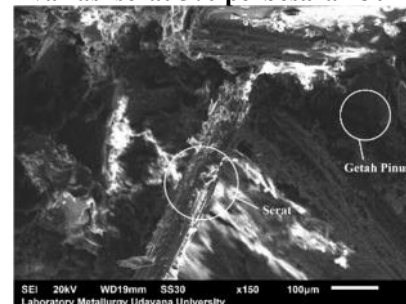
Gambar 14. Grafik regangan bending

Spesimen *green composite* dengan variasi serat 15% memiliki nilai regangan yang paling tinggi yaitu 0,047. Spesimen *green composite* dengan variasi serat 10% memiliki nilai regangan sebesar 0,045. Sedangkan nilai regangan yang paling rendah terdapat pada spesimen *green composite* dengan variasi serat 5% dengan nilai regangan bending sebesar 0,028.

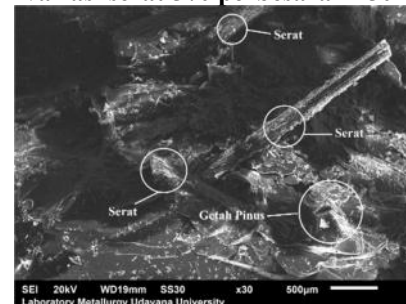
4.3 Data uji SEM



Gambar 15. Hasil uji SEM Green Composite variasi serat 5% perbesaran 30x



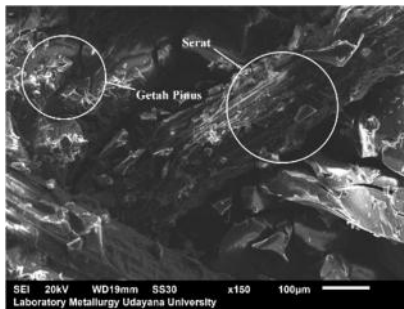
Gambar 16. Hasil uji SEM Green Composite variasi serat 5% perbesaran 150x



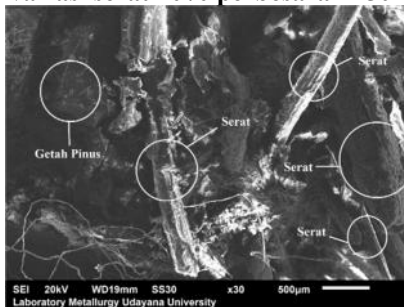
Gambar 17. Hasil uji SEM Green Composite variasi serat 10% perbesaran 30x

Setelah melakukan pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) di hasilkan foto dari

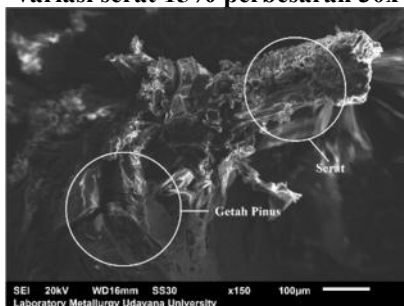
permukaan spesimen. Untuk hasil foto SEM dapat dilihat pada Gambar 15 sampai 20.



Gambar 18. Hasil uji SEM Green Composite variasi serat 10% perbesaran 150x



Gambar 19. Hasil uji SEM Green Composite variasi serat 15% perbesaran 30x



Gambar 20. Hasil uji SEM Green Composite variasi serat 15% perbesaran 150x

Gambar-gambar diatas menunjukkan hasil uji SEM (*Scanning Elctron Microscope*) pada masing-masing variasi fraksi volume *green composite* serat pelepah pisang dengan resin getah pinus, dapat dilihat bahwa fraksi volume sangat berpengaruh dalam kerapatan antara penguat dan matriks. Dapat di bandingkan juga pada gambar 15, gambar 17, dan gambar 19 bahwa jumlah serat sangat terlihat pada gambar.

Gambar-gambar diatas juga telah menunjukkan bahwa antara penguat dan matriks telah terikat dengan baik.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan tentang pengaruh variasi fraksi volume pada *green composite* serat pelepah pisang dengan resin getah pinus terhadap kekuatan bending, densitas, dan SEM dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hasil pengujian bending menunjukkan bahwa *green composite* serat pelepah pisang

dengan resin getah pinus variasi fraksi volume serat 15% memiliki nilai kekuatan bending paling tinggi. Dimana nilai tegangan bending sebesar 6,776 MPa, nilai regangan bending sebesar 0,047, dan nilai modulus elastisitas sebesar 521,8477 MPa.

2. Hasil uji densitas menunjukkan bahwa semakin banyak presentase serat yang ditambahkan kedalam *green composite*, maka densitas dari *green composite* akan semakin menurun.
3. Hasil uji SEM menunjukkan bahwa, dari seluruh specimen telah terjadi ikatan yang sempurna dari penguat dan matriks. Serta prosentase serat sangat mempengaruhi kerapatan spesimen.

Daftar Pustaka

- [1] Giannitra, D., Kencanawati, C. I. P. K., & Negara, D. N. K. P., 2019, *Karakteristik Akustik Dan Mekanik Dari Green Composite Serat Sabut Kelapa (Cocos Nuciferal) Bioresin Getah Pinus (Pinus Merkusii) Dengan Variasi Waktu Perlakuan Alkali (Naoh)*. Vol. 8 No. 2.
- [2] Khotimah, K., 2015, *Sifat Penyerapan Bunyi Pada Komposit Serat Batang Pisang (SBP) – Polyester*, Vol. 1 No. 1, pp. 91–101.
- [3] Larasati, M. D. (n.d.). *Pohon Pinus (Pinus merkusii): Hutan Pinus, Habitat, Sebaran, Morfologi, Manfaat, dan Budidaya*. Foresteract.
- [4] Saris I Putu, 2018, *Pengaruh Variasi Ketebalan Green Komposit Getah Pinus Dengan Penguat Batang Pisang Terhadap Serapan Bunyi*. Universitas Udayana. Jimbaran.
- [5] Yosua Kristianto, 2017, *Variasi Panjang Dan Fraksi Volume Terhadap Koefisien Serap Bunyi Panel Green Komposit Serabut Kelapa (Cocos nuciferal) Dengan Perekat Getah Pinus (Pinus merkusii)*.

	<p>Putri Wahyu Nur Afifah menyelesaikan studi S1 di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Bali tahun 2020. Penelitian yang diminati ada pada karakteristik mekanik komposit, dan segala hal yang berhubungan dengan komposit.</p>
--	---

Sifat Mekanis Sambungan *Similar Stainless Steel 304* Dengan Variasi Ketebalan dan Diameter *Spot Welding Electrode Taper*

Aditia Arif Gunawan, I N. Gde Antara, dan I N. Budiarsa.
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Saat ini Indonesia sebagai pengguna kendaraan bisa dibilang banyak, khususnya pada kendaraan roda empat. Pesatnya dunia industri mendorong berbagai inovasi guna menghasilkan produk yang lebih unggul guna menghasilkan produksi yang jauh lebih bagus dari produk-produk sebelumnya. Kualitas dan kekuatan dari hasil sambungan las titik (*spot welding*) sangatlah penting dalam penyambungan plat karna diharapkan hasil yang jauh lebih baik demi meningkatkan keamanan, kenyamanan dan juga kelayakan pada kendaraan, sehingga ini perlu dilakukan untuk penelitian yang lebih lanjut untuk kedepannya, dan juga pada penelitian ini sambungan yang digunakan yaitu similar metal dengan variasi ketebalan parameter las titik sangat berpengaruh terhadap sifat fisik dan mekaniknya yang meliputi kemampuan menahan beban Tarik, Geser, dan juga vickers. Dengan dilakukannya metode pengujian Tarik, Geser dan Vickers maka kita tau hasil dari kekuatan material stainless steel 304 khususnya pada sifat dan mekanisnya. Hasil uji tarik plat stainless steel 304 tebal 0,8 mm didapatkan rata-rata tegangan tarik max 163,733 Mpa – regangan rata-rata 59,391 %, hasil uji geser dengan variasi ketebalan dan diameter spot welding electrode taper 4 mm didapat rata-rata tegangan geser max 65,997 Mpa – regangan rata-rata 13,09%, hasil uji geser pada diameter spot welding electrode taper 5 mm didapatkan rata-rata tegangan geser max 59,33 Mpa – regangan rata-rata 5,41%, dan untuk uji Vickers nilai HVN rata-rata pada logam las yang tertinggi terdapat pada diameter spot welding electrode taper 5 mm 264,190 kg/mm².

Kata kunci: *Stainless steel, Las Titik*

Abstract

Currently, Indonesia as a vehicle user can be called a lot, especially in four-wheeled vehicles. The rapid industrial world is encouraging various innovations to produce products that are superior to produce a production that is far better than previous products. The quality and strength of spot welding results are very important in connecting plates because it is expected that results are much better in order to improve safety, comfort and also the feasibility of the vehicle, so this needs to be done for further research in the future, and also in the future. This study used a similar metal connection with variations in thickness of the point weld parameters greatly affect the physical and mechanical properties which include the ability to withstand the tensile, sliding, and vickers. By doing the Pull, Shear and Vickers testing method we know the results of the strength of the stainless steel 304 material especially in its properties and mechanics. Tensile test results of 304 mm thick 304 stainless steel plates obtained a maximum voltage of 163,733 Mpa – 59,391% strain, shear test results with variations in thickness and diameter of spot welding electrode taper 4 mm max shear stress of 65,997 Mpa – average strain 59,33%, test results shear at taper electrode taper diameter 5 mm max shear stress 59,33 Mpa - average strain 5,41%, and for Vickers test the average HVN value on the highest welding metal is found at taper spot welding electrode diameter 5 mm 264,190 kg/mm².

Keywords: *Stainless steel, Spot welding*

1. Pendahuluan

Saat ini Indonesia sebagai pengguna kendaraan bisa dibilang banyak, khususnya pada kendaraan roda empat. Pesatnya dunia industri mendorong berbagai inovasi guna menghasilkan produk yang lebih unggul guna menghasilkan produksi yang jauh lebih bagus dari produk-produk sebelumnya, las adalah metode penyambungan yang saat ini banyak digunakan khususnya bidang industri karna prosesnya mudah dan memiliki kelebihan yang kuat [1]. Pada teknik pengelasan saat ini yang digunakan lumayan banyak, pemakaiannya dapat disesuaikan dari jenis logam, dimensi logam, dan juga hasil akhir yang diinginkan, metode pengelasan yang populer saat ini yaitu las titik (*spot welding*). Las titik ini adalah pengelasan yang banyak dipakai pada industri perakitan mobil dan untuk pengelasannya pada daerah *body* mobil bisa mencapai 3000 sampai 4000 titik sambungan las

[2]. Penggunaan las titik ini memiliki keunggulan yaitu sambungannya rapih, cepat, dan hasil sambungan lebih rapat, untuk kualitas dan karakteristik hasil sambungan dipengaruhi beberapa faktor diantaranya ketebalan pelat, diameter *spot welding electrode taper*, arus dan juga lama waktu pengelasan yang dipakai.

Kualitas dan kekuatan dari hasil sambungan las titik (*spot welding*) sangatlah penting dalam penyambungan pelat karna diharapkan hasil yang jauh lebih baik demi meningkatkan keamanan, kenyamanan dan juga kelayakan pada kendaraan, sehingga ini perlu dilakukan untuk penelitian yang lebih lanjut untuk kedepannya [3].

Parameter las titik sangat berpengaruh terhadap sifat fisik dan mekaniknya yang meliputi kemampuan menahan beban Tarik, Geser, dan juga Kekerasan, parameter lain yang mempengaruhi hasil pengelasan

titik (*spot welding*) berdasarkan hasil dari berbagai penelitian yang ada adalah kuat arus listrik, jenis bahan penelitian, lama waktu pengelasan, dan juga ketebalan plat yang digunakan. Jenis bahan dan ketebalan pelat ini yang paling banyak diteliti oleh para ilmuwan. Hal ini dikarenakan dalam pembuatan struktur khususnya pada bidang transportasi hampir seluruhnya menyatukan dua jenis material atau lebih dengan ketebalan yang berbeda.

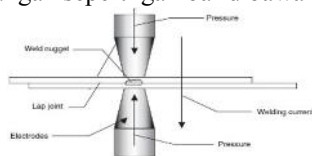
Penyambungan yang dipakai untuk pengujian kali ini yaitu adalah *similar metal* atau penyambungan dengan jenis logam yang sejenis dengan ketebalan bahan yang berbeda dengan cara dilas atau digabungkan. Pengelasan dengan logam yang memiliki ketebalan berbeda biasanya lebih rumit dibandingkan dengan ketebalan logam yang sama.

Berdasarkan fenomena tersebut penulis tertarik untuk melakukan penelitian yang berjudul “Sifat Mekanis Sambungan *Similar Stainless Steel 304* Dengan Variasi Ketebalan dan Diameter *Spot Welding Electrode Taper*”.

2. Dasar Teori

2.1 Las Titik (*Spot Welding*)

Las titik yaitu salah satu mekanisme penyambungan pada bahan baja atau jenis material lain yang berjenis logam, biasanya berbentuk lembaran dijepit di antara elektroda yang ada pada mesin las titik. Siklus pengelasan ini dilakukan ketika elektroda bersinggungan dengan logam yang ingin disambung dibawah pengaruh tekanan sebelum arus dialirkan [4]. Lembaran material yang ingin disambungkan biasanya disatukan menjadi satu dengan posisi tumpang tindih (*lap joint*) antara pelat A dengan Pelat B agar bisa menjadi satu bagian sambungan seperti gambar dibawah ini.



Gambar 1 Proses Las Titik

Faktor tersebut dapat ditinjau dalam rumus berikut :

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

Dimana:

- H = Total panas yang dihasilkan (joule)
- I = Arus (ampere)
- R = Hambatan elektrik dari sirkuit (Ω)
- T = Waktu selama arus mengalir (detik)

2.2 *Spot Welding Electrode Taper*

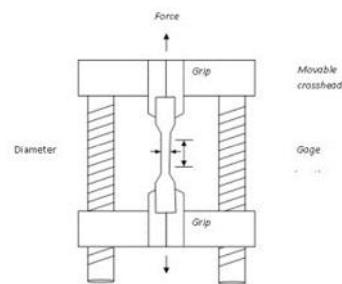
Spot welding electrode taper atau biasa disebut *Tip Gun* terletak diujung elektroda yang berfungsi memberikan tekanan pada benda kerja. Selain memberikan tekanan pada benda kerja, *electrode*

taper juga memberikan aliran arus dengan jumlah yang besar untuk proses pengelasan. *Taper* terbuat dari tembaga karena memiliki titik lebur yang berbeda dengan benda kerja, sehingga setelah proses pengelasan selesai *taper* tidak akan menempel pada benda kerja. Untuk diameter *Spot Welding Electrode Taper* ini yang dipakai pada penelitian kali ini yaitu 4 mm dan 5 mm [5].

3. Metode Penelitian

3.1 Uji Tarik

Uji Tarik merupakan pengujian suatu kekuatan bahan dengan memberi beban gaya yang sesumbu [6]. Uji tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan bahan yang tidak kita ketahui khususnya bahan atau material yang tidak memiliki sertifikat, gambar dibawah ini adalah contoh mesin uji tarik.



Gambar 2 Uji Tarik

Dimana didapat persamaan untuk tegangan :

$$\sigma = F/A \quad (2)$$

Dimana :

- σ = Tegangan (N/mm^2)
- F = Gaya (N)
- A = Luas Penampang Awal (mm^2)

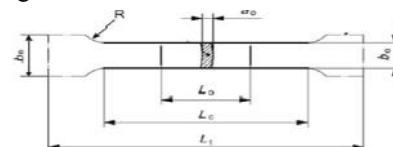
Persamaan regangan :

$$\epsilon = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100 \% \quad (3)$$

Dimana :

- ϵ = Regangan %
- L_f = Panjang akhir (mm)
- L_0 = Panjang awal (mm)

Setelah didapatkan persamaan diatas maka disini akan dicantumkan standarisasi spesimen uji tarik dengan ISO 6892-1:2009



Gambar 3 Spesimen Uji Tarik ISO 6892-1:2009

Dimana :

- Elemen panjang (mm)
- L_0 = Panjang awal pengukuran (80 mm)
- L_c = Panjang Paralel (130 mm)
- L_t = Panjang Total (200 mm)
- b_o = Lebar pengukuran (20 mm)
- b_e = Lebar grip (25 mm)

R = Radius (25 mm)

3.2 Uji Geser

Pengujian geser ini biasanya digunakan pada material yang berjenis sambungan contohnya seperti material hasil las, dari hasil pengujian geser juga dapat diketahui sifatnya seperti penampang, perpanjangan reduksi dan yang lainnya. Tegangan geser ini yaitu tegangan yang bekerja sejajar atau menyinggung permukaan. dibawah ini persamaan tegangan dan regangan geser:

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (4)$$

Dimana :

τ = Kekuatan geser (N/mm^2)
 F = Beban geser(Kg)
 A = Luas penampang geser(mm^2)

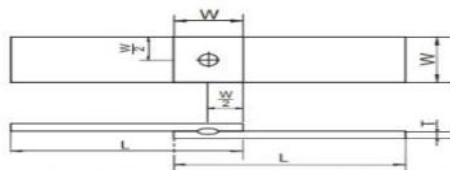
Regangan geser :

$$\gamma = \frac{L_f - L_o}{L_o} \times 100 \% \quad (5)$$

Dimana :

ϵ = Regangan %
 Lf = Panjang akhir (mm)
 Lo = Panjang awal (mm)

Setelah didapat persamaan diatas setelah ini akan dicantumkan standarisasi spesimen uji geser dengan JIS Z3139



Gambar 4 Spesimen Uji Geser JIS Z3139

Dimana elemen panjang (mm):

L = Panjang Spesimen (150 mm)
 W = Lebar (30 mm)

3.3 Uji Vickers

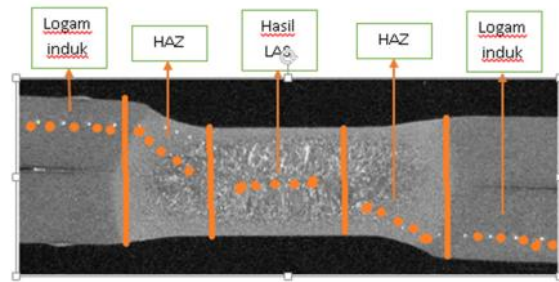
Uji Vickers atau kekerasan pada suatu material yaitu kekuatan suatu bahan untuk menahan deformasi plastis, dengan dilakukannya uji Vickers ini yaitu berfungsi untuk mengamati ketahanan suatu material yang bercampur dengan material lain. Dimana persamaan yang didapat untuk mencari nilai kekerasan yaitu sebagai berikut :

$$HVN = 1,854 \frac{P}{d^2} \left(\frac{kg}{mm^2} \right) \quad (6)$$

Dimana :

HVN = Angka kekerasan Vickers (kg/mm^2)
 P = Beban tekan (kg)
 d = Diagonal tapak rata-rata (mm) = $(d_1 + d_2) / 2$

Dibawah ini adalah contoh spesimen uji Vickers standarisasi yang dipakai adalah ASTM E 384 -10.



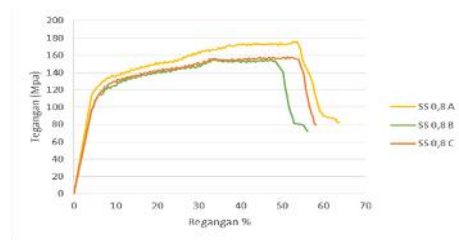
Gambar 5 Spesimen Uji Vickers ASTM E 384-10

4. Hasil dan Pembahasan

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

4.1. Hasil pengujian tarik

Dari gambar 6 bisa dilihat pada grafik dibawah ini bahwa pengujian tarik dilakukan sebanyak 3 kali untuk mendapatkan nilai kekuatan tarik yang lebih baik dan juga untuk mengetahui sifat mekanik dari stainless steel 304.

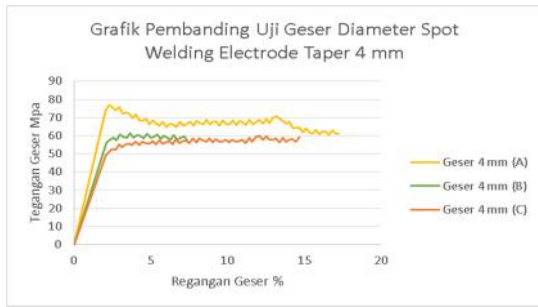


Gambar 6 Grafik Pembanding Uji Tarik

Dari grafik tersebut juga dapat dilihat bahwa untuk pengujian tarik ini dilakukan sebanyak 3 kali dengan tujuan sebagai pembandingan dan juga untuk mendapatkan nilai kekuatan tarik yang lebih baik dari ketiga spesimen tersebut, dimana data yang di dapat yaitu pada spesimen A tegangan max 176,383 Mpa – regangan 63,780%, spesimen B tegangan max 156,333 Mpa – regangan 56,190%, dan pada spesimen C tegangan max 158,605 Mpa – regangan 58,205%. Jadi dari ketiga pengujian tersebut spesimen yang mendapatkan nilai tegangan tertinggi yaitu spesimen (A).

4.2 Hasil pengujian geser diameter spot welding electrode taper 4 mm

Dari gambar 7 dapat dilihat bahwa pengujian geser sambungan las dengan diameter spot welding electrode taper 4 mm dilakukan sebanyak 3 kali yakni untuk menguji hasil kekuatan las pada spesimen stainless steel 304 yang divariasikan ketebalannya yang dipakai 0,8 mm dan 1mm, selain itu juga untuk mengetahui bahwa spesimen mana yang mendapatkan hasil yang terbaik.

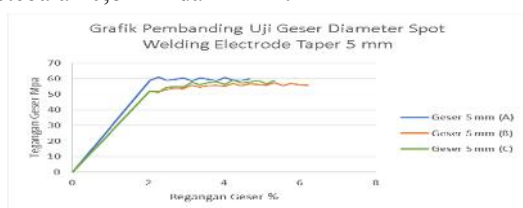


Gambar 7 Grafik Pembanding Uji Geser

Dari gambar grafik diatas dapat dijelaskan bahwa pengujian geser ini dilakukan 3 kali yakni untuk mendapatkan pembanding dari setiap spesimen, untuk mengetahui hasil kekuatan las, dan juga untuk mendapatkan hasil yang terbaik dari tiga spesimen diatas, dimana pada spesimen A nilai tegangan geser max 76,838 Mpa – regangan geser 17,25%, spesimen B nilai tegangan geser max 61,259 Mpa – regangan geser 7,38%, dan spesimen C nilai tegangan geser max 59,895 Mpa – regangan geser 14,66%. Jadi dari hasil ketiga pengujian diatas spesimen yang mendaapatkan nilai tertinggi yaitu spesimen (A) karna spesimen pada saat diuji sampai benar-benar pullout atau penggeseran maksimum dibanding spesimen lainnya.

4.3 Hasil pengujian geser diameter spot welding electrode taper 5 mm

Dari gambar 8 bisa dilihat bahwa untuk pengujian geser diameter spot welding electrode taper 5 mm ini sama juga dari pengujian sebelumnya yaitu dilakukan sebanyak 3 kali fungsinya untuk mengetahui hasil kekuatan las atau sambungan, sebagai pembanding, dan juga untuk mendapatkan hasil yang terbaik dari spesimen lainnya, untuk ketebalannya sama seperti diameter 4 mm yaitu ketebalan 0,8 mm dan 1 mm.

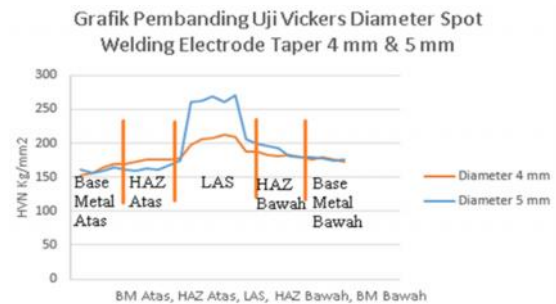


Gambar 8 Grafik Pembanding Uji Geser

Dari gambar grafik 8 dapat dijelaskan bahwasannya pengujian geser ini dilakukan sebanyak 3 kali yaitu untuk mendapatkan pembanding dari setiap spesimen, untuk mengetahui kekuatan las, dan juga untuk mendapatkan hasil yang terbaik. Dimana pada spesimen A tegangan geser max 61,247 Mpa – regangan 4,70%, spesimen B tegangan geser max 57,447 Mpa – regangan 6,21%, dan spesimen C nilai tegangan geser max 59,274 Mpa – regangan 5,34%. Dari hasil pengujian diatas yang mendapatkan tegangan tertinggi atau tegangan geser maksimum yaitu terjadi pada spesimen (A).

4.4 Hasil Pengujian Vickers

Dari gambar 9 ini dapat dilihat untuk hasil pengujian Vickers logamlas dimana ini untuk mendapatkan nilai kekerasan atau HVN dan juga mencari nilai HVN rata-rata disetiap bagian seperti logam induk, HAZ, dan juga LAS pada spesimen diameter spot welding electrode taper 4 mm dan 5 mm.



Gambar 9 Grafik Pembanding Uji Vickers

Grafik 9 dapat dijelaskan bahwa besar kecilnya diameter taper dan ketebalan plat mempengaruhi nilai kekerasan atau HVN, dimana gambar diatas terdapat 5 tempat pengujian yaitu daerah Base metal, HAZ atas, Las, HAZ bawah, dan juga daerah Base metal bawah. Pada setiap daerah dilakukan pengujian sebanyak 5 titik kekerasan guna sebagai pembanding untuk mendapatkan nilai HVN rata-rata dari kedua taper diameter 4 mm dan 5 mm, untuk taper 4 mm: HVN rata-rata pada Base metal atas 162,195kg/ mm², HAZ bawah HVN rata-rata 175,619 kg/ mm², Las HVN rata-rata 206,417 kg/ mm², HAZ bawah HVN rata-rata 184,170 kg/ mm², dan Base metal bawah HVN rata-rata 176,919 kg/mm². Untuk taper 5 mm : HVN rata-rata Base metal atas 159,874 kg/mm², HAZ atas HVN rata-rata 165,031 kg/ mm², Las HVN rata-rata 264,190 kg/ mm², HAZ bawah HVN rata-rata 194,943 kg/mm², dan daerah Base metal bawah nilai HVN rata-rata yaitu 177,362 kg/mm².

5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian tarik logam induk tebal 0,8 mm maka didapat rata-rata tegangan tarik maksimum yaitu sebesar 163,733 Mpa dan rata-rata regangan tarik sebesar 59,391 %.
2. Hasil pengujian geser sambungan las diameter taper 4 mm didapat rata-rata tegangan geser maksimum 65,997 Mpa dan rata-rata regangan geser sebesar 13,09 %, untuk sambungan las diameter taper 5 mm didapat rata-rata tegangan geser maksimum yaitu sebesar 59,33 Mpa dan rata-rata regangan geser sebesar 5,41 %.
3. Hasil pengelasan material *Stainless Steel* 304 mendapatkan nilai kekerasan yang

tinggi. Dimana nilai HVN rata-rata daerah las diameter *taper* 4 mm 206,417 Kg/mm² dan nilai HVN rata-rata diameter *taper* 5 mm 264,190 Kg/mm².

Daftar Pustaka

- [1] Purwaningrum Y., & Fatchan, M., 2013, *Pengaruh Arus Listrik Terhadap Karakteristik Fisik-Mekanik Sambungan Las Titik Logam Dissimilar Al-Steel*. Jurnal Teknik Mesin, Vol.15 No. 1, pp. 16-22.
- [2] Aravinthan A., and Nachimani C., 2011, *Analysis of Spot Weld Growth On Mild and Stainless Steel, Supplement To The Welding Journal*, vol.90, pp.143-147.
- [3] Agustina I. P., Budiarsa I. N., dan Santiarsa I., G., N., N., 2018, *Pengaruh Variasi Ketebalan (Thickness) Terhadap Sifat Mekanik Material Dasar Dan Daerah Nugget Pada Hasil Pengelasan Titik (Spot Welding) Baja Lembaran*, Jurnal Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bali, Vol. 7 No. 4, pp. 316-320.
- [4] Wiryosumatro H., Prof, Dr, Ir, Okumura, T., 1981, *Teknologi Pengelasan Logam*.
- [5] Handra N., 2014, *Pengaruh Waktu Tekan Dan Hasil Gmpalan Terhadap Kekuatan Geser Pada Las Titik*, Jurnal Teknik Mesin Institut Teknologi Padang, Vol. 1, pp. 37- 42.
- [6] Askeland D., R., 1985, *The Science and Engineering of Material*, Alternate Edition, PWS Engineering, Boston, USA.



Aditia Arif Gunawan menyelesaikan studi di SMA Diponegoro 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 Rekayasa Manufaktur, mengenai tentang logam dan *Spot Welding*.

Pengaruh Variasi Timing Pengapian Terhadap Torsi, Daya Dan Konsumsi Bahan Bakar Mesin Injeksi 1500 CC

Bastian Yuda Kriswinarto, IGK Sukadana dan I Wyn Bandem Adnyana

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Ada bermacam-macam alat transportasi yang dapat kita jumpai di Indonesia, terutama alat transportasi darat mulai dari konvensional hingga yang modern dengan menggunakan mesin sebagai penggerakannya. Mesin tersebut menggunakan prinsip motor bakar cetus api. Oleh karena itu membutuhkan timing pengapian yang tepat untuk mendapatkan kinerja mesin yang maksimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui berapa besar pengaruh variasi timing pengapian terhadap performa mesin yang dihasilkan. Penelitian dilakukan pada kendaraan bermesin injeksi dengan kapasitas 1500 cc dengan bahan bakar pertamax RON 92. Dalam penelitian ini menggunakan variasi timing -2, -1, top, +1, +2 dengan putaran mesin 2000, 2500, 3000, 3500, 4000 rpm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Torsi dan Daya terbaik dihasilkan pada saat timing dimajukan 1° pada putaran mesin 4000 rpm. Hal itu terjadi karena jika pengapian dimajukan akan mempercepat pembakaran dan memperpanjang langkah ekspansi yang terjadi sehingga menghasilkan kinerja mesin yang maksimal. Hasil konsumsi bahan bakar terendah dihasilkan pada timing -2 (12° BTDC) pada putaran 2000 rpm. Nilai FC semakin kecil apabila berada pada putaran mesin rendah yaitu pada putaran 2000 rpm karena pada putaran tersebut adalah putaran terendah dari semua variasi yang dilakukan. Semakin tinggi putaran mesin maka nilai FC akan semakin besar karena mesin membutuhkan bahan bakar yang lebih banyak dalam setiap kenaikan putaran mesin.

Kata Kunci : Timing Pengapian, Torsi, Daya, Konsumsi Bahan Bakar Spesifik

Abstract

There are various means of transportation that we can find in Indonesia, especially land transportation equipment ranging from conventional to modern by using the engine as the driving force. The machine uses the principle of a spark fire engine. Therefore it requires proper ignition timing to get maximum engine performance. This study aims to determine how much influence the variation of ignition timing on the performance of the engine produced. The study was conducted on injection-engined vehicles with a capacity of 1500 cc with Pertamina RON 92 fuel. In this study, variations of the timing are -2, -1, top, +1, +2 with engine speed 2000, 2500, 3000, 3500, 4000 rpm. The results showed that the best torque and power were generated when the timing was advanced 1° at 4000 rpm engine speed. That happens because if the ignition is advanced it will accelerate combustion and extend the expansion steps that occur so as to result in maximum engine performance. The lowest fuel consumption results are generated at the -2 (12° BTDC) timing at 2000 rpm rotation. FC value is getting smaller when it is at low engine speed at 2000 rpm because it is the lowest speed of all variations done. The higher the engine speed the FC value will be greater because the engine requires more fuel in every increase in engine speed.

Key word : ignition timing, torsi, power, spesific fuel consumption

1. Pendahuluan

Di era kemajuan teknologi saat ini, dimana teknologi mengalami perkembangan pesat, tidak terlepas pada bidang transportasi. Ada bermacam-macam alat transportasi yang dapat kita jumpai di Indonesia, mulai dari konvensional hingga yang modern dengan menggunakan mesin sebagai penggerakannya. Mesin tersebut menggunakan prinsip motor bakar dalam sistemnya. Pada sistem motor bakar terdapat dua syarat yang harus dipenuhi agar dapat berfungsi normal yaitu campuran udara bahan bakar yang sesuai dan sistem pengapian yang tepat.

Sistem pengapian adalah salah satu sistem yang berpengaruh pada performa mesin, karena ketepatan waktu pengapian berpengaruh pada pembakaran yang dihasilkan. Semakin tepat waktu pengapian maka efisiensi dan performa mesin akan semakin bagus, maka dari itu performa mesin harus tetap dijaga karena sebuah mesin akan mengalami fase lelah

dimana performa mesin akan menurun seiring dengan pemakaian dalam jangka waktu yang lama. Terdapat faktor yang membuat performa tersebut menurun diantaranya, kondisi keausan yang terjadi pada komponen mesin seperti *camshaft*, *crankshaft*, katup, *piston ring* dan dinding silinder serta kondisi ruang bakar yang kotor akan menyebabkan detonasi yaitu penyalaan waktu pengapian sebelum waktunya. Oleh karena itu harus dilakukan pengaturan timing pengapian yang tepat agar performa mesin tetap maksimal.

Ada beberapa penelitian yang membahas tentang performa mesin, diantaranya: Syahril machmud dkk (2013) melakukan penelitian tentang pengaruh variasi unjuk derajat pengapian terhadap kerja mesin dengan menggunakan mesin berkapasitas 97,1 cc dan memvariasikan timing pengapian standar, maju 3° dan maju 6°. diperoleh hasil pada derajat pengapian

standar diperoleh torsi 7,86 N.m / 5854 rpm, derajat pengapian yang dimajukan 3° dari standar : 7,89 N.m / 6155 rpm, derajat pengapian yang dimajukan 6° dari standar : 7,90 N.m / 6194 rpm. sedangkan hasil daya diperoleh hasil derajat pengapian standar : 7,0 Hp / 7625 rpm, derajat pengapian yang dimajukan 3° dari standar : 7,1 Hp / 7527 rpm, derajat pengapian yang dimajukan 6° dari standar : 7,3 Hp / 7796 rpm. Dari data tersebut diatas, pengapian yang dimajukan mempengaruhi nilai peningkatan pada kineja mesin dibanding derajat pengapian standar. Hal ini dapat dilihat dari nilai torsi dan daya poros yang lebih besar dalam derajat pengapian yang dimajukan 6° dari standarnya [1].

Himawan Solikin (2015) penelitian tentang daya dan torsi mesin toyota kijang innova menggunakan bahan bakar pertamax plus dan diperoleh hasil Berdasarkan hasil pengujian, besar daya tertinggi yang dihasilkan oleh Toyota Kijang Innova 1TR pada percobaan pertama adalah sebesar 88 kW pada putaran mesin 7000 rpm. Daya yang dihasilkan cenderung dapat bertambah sebentar, namun kemudian akan jatuh turun dengan pesat. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh winarno (2011 : 38), penurunan daya yang dihasilkan dapat dipengaruhi oleh telatnya timing pengapian pada putaran tinggi dan kurangnya konsumsi bahan bakar seiring bertambahnya putaran mesin. Hal tersebut mengakibatkan tekaknan dan temperatur pembakaran di ruang bakar mengalami penurunan. Terjadinya penurunan tekanan dan temperatur pembakaran juga akan menurunkan energi yang dihasilkan olrh mesin sehingga daya yang dihasilkan juga akan mengalami penurunan. Penurunan daya pada putaran tinggi juga diakibatkan oleh pembukan katup hisap yang berjalan semakin cepat hal tersebut mengakibatkan konsumsi ke ruang bakar menurun yang menyebabkan penurunan daya dan torsi mesin [2].

Hennu Pradipta Endrantoro dan Indra Herlamba Siregar (2013). Penelitian tentang variasi waktu pengapian terhadap performa dan emisi mesin 1 silinder dengan pemanas dengan memvariasikan timing 10° , 15° dan 20° sebelum TMA dan menggunakan tambahan pemanas campuran udara pada intake manifold, dari pengujian tersebut dapat disimpulkan bahwa peningkatan torsi terbesar terletak pada putaran 5000 rpm dengan variasi waktu pengapian 10° sebelum TMA dengan menggunakan manifold modifikasi sebesar 8,2 %. Penurunan konsumsi bahan bakar tertinggi (fuel consumption) diperoleh pada variasi 10° sebelum TMA menggunakan manifold modifikasi didapatkan pada putaran 4500 rpm yaitu sebesar 39,0%. Dari hasil pengujian tersebut yang paling optimal adalah 20° sebelum TMA dengan manifold standar. Dikarenakan torsi, daya dan CO2 yang dihasilkan baik [3].

Perbedaan penelitian diatas dengan penelitian yang saya lakukan adalah menggunakan mesin 4 silinder 1500 cc bahan bakar yang hanya

menggunakan pertamax ron 92 dan pengujian dilakukan pada putaran mesin 2000, 2500, 3000, 3500, 4000 rpm dengan variasi timing pengapian -2°, -1°, top (standard), +1°, +2° sebelum TMA.. top adalah standar sudut yang terbentuk antara garis kerja piston dari TMA ke TMB dengan waktu membukanya katub. spesifikasi top (standard) pada mesin yang akan di uji adalah 10° jadi bisa diartikan variasi timing diatas adalah pada timing 12°, 11°, 10°, 9°, 8° sebelum TMA. Pengujian ini mencoba menganalisa ketepatan timing dan performa yang di hasilkan oleh mesin setelah pemakaian kendaraan selama sekian tahun. Performa mesin yang akan diuji meliputi torsi, daya dan konsumsi bahan bakar spesifik yang dihasilkan.

2. Dasar Teori

Motor Bakar disebut mesin siklus otto 4 tak (langkah) dengan proses pembakaran menggunakan percikan api busi atau lebih dikenal *Spark Ignition Engine*. Motor bensin termasuk dalam mesin kalor merupakan dari sistem termodinamika, yang memiliki batas – batas *thermal* dengan keadaan dan properti pada tiap proses perubahan energi *thermal* untuk melakukan kerja mekanik atau mengubah energi kimia menjadi tenaga mekanis. pembakaran terjadi didalam sistem (*internal combustion engine*) sehingga gas panas pembakaran yang terjadi sekaligus berfungsi sebagai fluida kerja. Prinsip Kerja Motor Bakar Torak Motor bakar torak merupakan mesin yang memiliki torak didlam silinder, dimana torak bekerja bolak – balik atau translasi dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB) atau sebaliknya yang disebut sistem resiprok (*Reciprocating*: bolak – balik). Gerakan torak bolak – balik tersebut untuk menghasilkan putaran pada poros engkol melalui batang torak. Siklus kerja motor bensin adalah rangkaian proses yang dilakukan oleh gerakan bolak – balik dari piston yang membentuk rangkaian siklus tertutup. Dalam satu siklus motor bensin empat langkah terjadi empat kali gerakan torak dan dua putaran poros engkol, sedangkan motor bensin dua langkah terjadi dua kali gerkan torak dan satu putaran poros engkol. Berikut proses dan siklus motor bensin empat langkah :

1. Langkah Intake (Hisap)

Katup hisap terbuka dan torak bergerak dari titik mati atas (TMA) menuju tiik mati bawah (TMB) sehingga campuran bahan bakar dan udara terhisap mengalir masuk kedalam ,silinder.

2. Langkah Kompresi

Katup hisap dan katup buang tertutup dan torak bergerak dari titik mati bawah (TMB) menuju titik mati atas (TMA) menekan campuran udara dan bahan bakar sehingga tekanan dalam silinder meningkat. Sewaktu torak mendekati TMA, beberapa derajat poros engkol terjadi proses percikan api dari busi dengan dua ujung elektrodanya untuk proses pembakaran campuran bahan bakar dan udara.

3. Langkah Pembakaran (Ekspansi)

Campuran bahan bakar udara yang terbakar akan menghasilkan tekanan dan temperatur ruang silinder juga meningkat. Jika sempat pada tekanan maksimum maka energi *thermal* tersebut akan mendorong torak ke bawah dari TMA menuju TMB gaya gerak yang ditimbulkan oleh gerakan torak ini diteruskan ke poros engkol melalui batang torak, sehingga memaksa poros engkol berputar.

4. Langkah Buang,

Torak mulai bergerak dari TMB ke TMA dan katup buang mulai membuka. Gas sisa dari proses pembakaran terdorong keluar melalui saluran buang (*exhaust manifold*). Ketika torak mendekati TMA katup buang mulai tertutup dan katup hisap mulai terbuka untuk awal langkah hisap. Demikian seterusnya secara kontinyu untuk dilakukan proses selanjutnya [4].

Sistem pengapian adalah untuk menghasilkan percikan listrik di dalam silinder pada waktu yang paling tepat untuk membakar campuran udara-bahan bakar yang terkandung di dalamnya. Sistem pengapian konvensional terutama terdiri dari koil pengapian, distributor, busi dan kabel tegangan tinggi. Ini dibagi menjadi sirkuit primer dan sekunder.

1. Ignition coil

Sebenarnya adalah transformer tipe pulsa yang mengubah tegangan baterai 12 volt menjadi tegangan tinggi yang dibutuhkan untuk ignition. Tegangan tinggi sekunder dibangkitkan oleh induksi arus primer yang terputus-putus di dalam coil dengan cara membuka dan menutup breaker point di dalam distributor.

2. Distributor

Berfungsi Agar dapat merespon berbagai kondisi operasi engine, distributor dirancang untuk memberikan percikan ignition pada waktu yang tepat ke busi. Terdapat breaker point di dalamnya yang membuka dan menutup kontak untuk mengirimkan aliran arus ke kumparan primer ignition coil. Distributor juga dirancang untuk mendistribusikan tegangan tinggi dari kumparan sekunder ke masing-masing busi berdasarkan firing order dan juga untuk dapat memajukan saat pengapian untuk merespon pembukaan valve dan rpm engine.

3. Busi

Membakar campuran gas bahan bakar dengan menggunakan dua elektroda dari tegangan tinggi kumparan sekunder yang disuplai dari ignition coil dan distributor.

4. Kabel Tegangan Tinggi

Merupakan kabel yang dirancang untuk mengantarkan tegangan tinggi dari ignition coil ke busi [5].

Torsi adalah satuan tenaga yang digunakan untuk sesuatu yang berputar, tenaga putaran. Saat sebuah baut dikencangkan dengan menggunakan kunci, semakin panjang lengannya maka semakin kecil tenaga yang dibutuhkan. Jumlah torsi yang

didapatkan adalah dengan mengalikan panjang lengan kunci dan gaya pengencangannya.

$$\text{Torsi (T)} = \text{Gaya} \times \text{jarak} = F \text{ (kg)} \times r \text{ (m)} \quad (1)$$

Torsi dilambangkan dengan satuan kg-m. diubah menjadi N.m, menurut Satuan Internasional. 1 kg-m = 9.8 Nm. Output adalah keluaran volume kerja dan kecepatan yang dibutuhkan untuk melakukan pekerjaan, merupakan volume kerja dalam satuan waktu. Untuk engine, satuan tersebut dinyatakan dengan horsepower. 1 horsepower adalah rata-rata tenaga yang digunakan untuk memindahkan benda sejauh 1 meter dalam waktu 1 detik dengan beban 75 kg diubah ke kw (SI) 1 PS = 0.7355 kw. Menghitung daya poros dapat dengan rumus sebagai berikut :

$$P = \frac{2\pi \cdot n \cdot T}{60 \times 1000} \quad (2)$$

P = Daya Poros (kW)

T = Torsi (N.m)

n = Putaran Mesin (RPM)

Konsumsi Bahan Bakar adalah jumlah bahan bakar per waktunya untuk menghasilkan daya sebesar 1 HP. Jadi konsumsi bahan bakar adalah ukuran ekonomi pemakaian bahan bakar. Untuk konsumsi bahan bakar hanya volume bahan bakar per satuan waktu (kg/jam) [6].

$$\text{SFC} = \text{FC} \times \rho / \text{Ne} \quad (3)$$

$$\text{FC} = v \times 3600 / t \times 1000$$

SFC = konsumsi bahan bakar spesifik (Kg/HP.Jam)

FC = Konsumsi Bahan Bakar (ℓ/Jam)

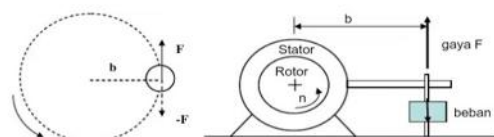
ρ = berat jenis bahan bakar yang digunakan (Kg/ℓ)

v = volume bahan bakar (cc)

t = waktu yang diperlukan untuk konsumsi bahan bakar (s)

Ne = daya yang dihasilkan (Hp)

Dinamometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur torsi pada poros motor bakar melalui penghubung roda penggerak. Prinsip kerja dari alat ini adalah dengan memberi beban yang berlawanan terhadap arah putaran mesin sampai putaran mendekati 0 rpm, Beban ini nilainya adalah sama dengan torsi poros. Dapat dilihat pada gambar. 1



Gambar 1. Skematik Dynamometer

adalah prinsip dasar dynamometer. Dari gambar tersebut terlihat pengukuran torsi pada poros (rotor) dengan prinsip pengereman dengan stator yang dikenai beban sebesar w. Mesin dinyalakan kemudian pada poros disambungkan dengan dynamometer. Untuk mengukur torsi mesin pada poros mesin diberi rem dan disambungkan dengan w pengereman atau pembebanan. Pembebanan

diteruskan sampai poros mesin hampir berhenti berputar. Beban maksimum yang terbaca adalah gaya pengereman yang besarnya sama dengan gaya putar poros mesin F [7].

3. Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan eksperimen terhadap objek tentang pengaruh variasi timing pengapian terhadap Torsi, Daya dan SFC pada mesin injeksi 1500 cc.

Tabel 1. Spesifikasi Mesin

Engine	HR 15 DE
Jumlah Silinder	4 cylinder in line
Jumlah Valve	16 Valve OHV
Volume Silinder	1498 cc
Diameter x Langkah	78.0 x 78.4
Perbandingan kompresi	10,5 : 1
Daya maksimum	109 PS / 6000 rpm
Torsi Maksimum	109 lb.ft / 4400 rpm
Distribusi Bahan Bakar	ECCS

Ada beberapa variabel yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah dimana variable yang besarnya ditentukan peneliti yaitu Timing Pengapian, -2° , -1° , Top, $+1^{\circ}$, $+2^{\circ}$ dan Putaran mesin (2000, 2500, 3000, 3500, 4000) Rpm

2. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variable yang besarnya di dapat dari variabel bebas yang ditentukan peneliti, dan diketahui sesudah dilakukan penelitian. Variabel terikatnya yaitu konsumsi bahan bakar spesifik, torsi dan daya dari output roda.

3. Variabel Control

Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah suhu mesin yang dijaga antara $80-90^{\circ}\text{C}$.

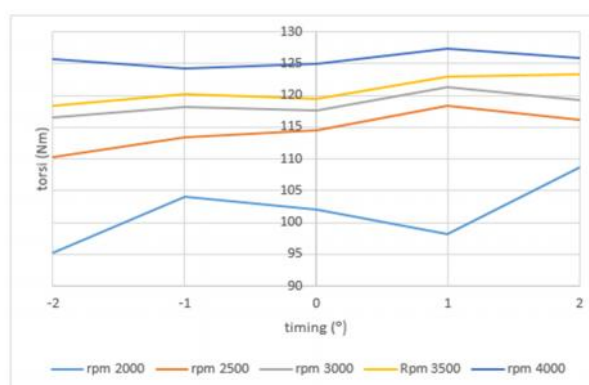
Alat dan Bahan yang digunakan antara lain, Mesin Nissan Grand livina 1500 cc injeksi, Tool box sebagai alat untuk membantu dalam proses bongkar pasang saat proses penelitian, Consult sebagai alat untuk penyetelan timing dan untuk memonitor putaran mesin, Dynamometer sebagai alat pengukur torsi dan daya mesin kendaraan, Pompa bahan bakar untuk mensuplai atau memompa bahan bakar dari burret menuju injektor untuk diteruskan menuju ruang bakar dalam proses pengambilan data konsumsi bahan bakar, Selang bahan bakar bertujuan untuk menghubungkan aliran bahan bakar dari burret menuju injektor dalam proses pengambilan data konsumsi bahan bakar, Accu berfungsi mensuplai arus listrik untuk mengaktifkan pompa bahan bakar. Stopwatch untuk menghitung lama waktu pemakaian bahan bakar, Burret sebagai wadah penampungan bahan bakar, Bahan bakar pertamax.

Dalam penelitian ini langkah-langkah dibagi menjadi dua tahap karena pengambilan data torsi dan daya dilakukan terpisah dengan pengambilan data SFC. Langkah-langkah pengambilan data torsi dan daya adalah sebagai berikut : Pengecekan oli, air radiator dan perlengkapan alat uji lainnya, Posisikan kendaraan uji pada mesin dynamometer, Setelah posisi mobil tepat, pasang pengikat pada roda belakang dan pada chasis bagian depan sebagai peralatan keamanan, Panaskan kendaraan uji hingga temperatur kerja, Matikan semua beban seperti air conditioner, audio, lampu, setting timing pada timing -2 , setting putaran mesin pada 2000, 2500, 3000, 4000 rpm, lakukan pencatatan data, ulangi langkah di atas dengan memvariasikan timing pengapian -1° , Top, $+1^{\circ}$, $+2^{\circ}$. Adapun langkah-langkah pengambilan data waktu konsumsi bahan bakar sebagai berikut : Pengecekan oli, air radiator dan perlengkapan alat uji lainnya, Pemasangan perlengkapan alat uji, Matikan semua beban seperti air conditioner, audio, lampu, setting timing pada -2 , setting putaran mesin pada 2000, 2500, 3000, 3500, 4000 rpm, aktifkan stopwatch dan amati pemakaian bahan bakar pada buret setiap 20 cc, matikan stopwatch, lakukan pencatatan data waktu yang diperoleh pada stopwatch, ulangi langkah di atas dengan memvariasikan timing -1° , Top, $+1^{\circ}$, $+2^{\circ}$.

4. Hasil dan Pembahasan

Tabel 2. Torsi (Nm)

Timing	rpm 2000	rpm 2500	rpm 3000	Rpm 3500	rpm 4000
+2	108,67	116,21	119,24	123,35	125,87
+1	98,14	118,43	121,31	123,03	127,34
Top	102,03	114,50	117,73	119,53	124,90
-1	104,01	113,39	118,17	120,30	124,19
-2	95,20	110,26	116,59	113,44	125,70



Gambar 1. Grafik hubungan antara timing dan torsi

Pada grafik diatas terlihat pada putaran 2000 rpm timing top menghasilkan torsi sebesar 102,03 Nm, jika pengapian dimajukan 1° torsi yang dihasilkan turun menjadi 98,14 Nm dan saat dimajukan 2° torsi tersebut meningkat menjadi sebesar 108,67 Nm. Pada saat timing dimundurkan 1°

torsi yang dihasilkan meningkat menjadi sebesar 104,01 Nm, jika timing dimundurkan 2° torsi yang dihasilkan turun menjadi 95,20. Dari grafik di atas terlihat torsi menurun pada saat timing dimajukan 1° pada putaran terendah 2000 rpm karena pada saat putaran tersebut nilai SFC sangat tinggi yang mengindikasikan bahwa konsumsi bahan bakar yang dihasilkan tinggi sehingga bahan bakar tidak terbakar semua dan menyebabkan pembakaran yang terjadi tidak sempurna mengakibatkan torsi yang dihasilkan rendah. Pada putaran 2000 rpm torsi maksimal dihasilkan saat timing dimajukan 2°.

Pada putaran 2500 rpm, timing top menghasilkan torsi sebesar 114,50 Nm, jika pengapian dimajukan 1° torsi yang dihasilkan naik menjadi 118,43 Nm dan saat dimajukan 2° torsi tersebut turun menjadi sebesar 116,21 Nm. Pada saat timing dimundurkan 1° torsi yang dihasilkan turun menjadi sebesar 113,39 Nm, jika timing dimundurkan 2° torsi yang dihasilkan semakin turun menjadi 110,26 Nm. Pada putaran 2500 rpm torsi maksimal dihasilkan saat timing dimajukan 1°.

Pada putaran 3000 rpm, timing top menghasilkan torsi sebesar 117,73 Nm, jika pengapian dimajukan 1° torsi yang dihasilkan naik menjadi 121,31 Nm dan saat dimajukan 2° torsi tersebut turun menjadi sebesar 119,24 Nm. Pada saat timing dimundurkan 1° torsi yang dihasilkan naik menjadi sebesar 118,17 Nm, jika timing dimundurkan 2° torsi yang dihasilkan turun menjadi 116,59 Nm. Pada putaran 3000 rpm torsi maksimal dihasilkan saat timing dimajukan 1°.

Pada putaran 3500 rpm, timing top menghasilkan torsi sebesar 119,53 Nm, jika pengapian dimajukan 1° torsi yang dihasilkan naik menjadi 123,03 Nm dan saat dimajukan 2° torsi tersebut semakin meningkat sebesar 123,35 Nm. Pada saat timing dimundurkan 1° torsi yang dihasilkan naik menjadi sebesar 120,30 Nm, jika timing dimundurkan 2° torsi yang dihasilkan turun menjadi 113,44 Nm. Pada putaran 3500 rpm torsi maksimal dihasilkan saat timing dimajukan 2°.

Pada putaran 4000 rpm, timing top menghasilkan torsi sebesar 124,90 Nm, jika pengapian dimajukan 1° torsi yang dihasilkan naik menjadi 127,34 Nm dan saat dimajukan 2° torsi tersebut turun menjadi sebesar 125,87 Nm. Pada saat timing dimundurkan 1° torsi yang dihasilkan turun menjadi sebesar 124,19 Nm, jika timing dimundurkan 2° torsi yang dihasilkan naik menjadi 125,70 Nm. Pada putaran 4000 rpm torsi maksimal dihasilkan saat timing dimajukan 1°.

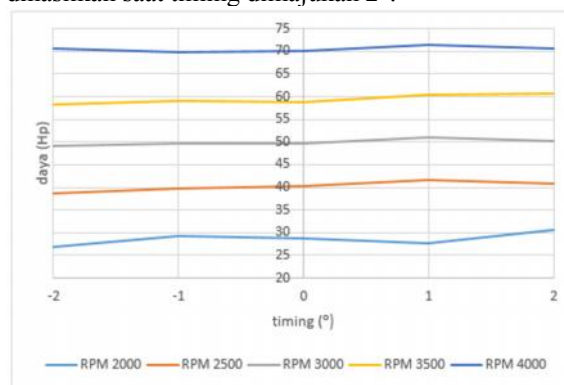
Pada putaran 2500 rpm, timing top menghasilkan daya sebesar 40,20 Hp, jika pengapian dimajukan 1° daya yang dihasilkan naik menjadi 41,58 Hp dan saat dimajukan 2° daya tersebut meningkat menjadi sebesar 40,80 Hp. Pada saat timing dimundurkan 1° daya yang dihasilkan turun menjadi sebesar 39,81 Hp, jika timing dimundurkan 2° daya yang dihasilkan semakin turun menjadi 38,71

Hp. Pada putaran 2500 rpm daya maksimal dihasilkan saat timing dimajukan 1°.

Tabel 3. Daya (Hp)

Timing	rpm 2000	rpm 2500	rpm 3000	rpm 3500	rpm 4000
+2	30.52	40.8	50.24	60.63	70.71
+1	27.57	41.58	51.10	60.47	71.53
Top	28.65	40.20	49.59	58.75	70.16
-1	29.21	39.81	49.79	59.13	69.76
-2	26.74	38.71	49.12	58.22	70.61

Pada grafik diatas terlihat pada putaran 2000 rpm timing top menghasilkan daya sebesar 28,65 Hp, jika pengapian dimajukan 1° daya yang dihasilkan turun menjadi 27,57 Hp dan saat dimajukan 2° daya tersebut meningkat menjadi sebesar 30,52 Hp. Pada saat timing dimundurkan 1° daya yang dihasilkan meningkat menjadi sebesar 29,21 Hp, jika timing dimundurkan 2° daya yang dihasilkan turun menjadi 26,74. Pada putaran 2000 rpm daya maksimal dihasilkan saat timing dimajukan 2°.



Gambar 2. Grafik Hubungan Antara Timing Dan Daya

Pada putaran 3000 rpm, timing top menghasilkan daya sebesar 49,59 Hp, jika pengapian dimajukan 1° daya yang dihasilkan naik menjadi 51,10 Hp dan saat dimajukan 2° daya tersebut meningkat menjadi sebesar 50,24 Hp. Pada saat timing dimundurkan 1° daya yang dihasilkan turun menjadi sebesar 49,79 Hp, jika timing dimundurkan 2° daya yang dihasilkan semakin turun menjadi 49,12 Hp. Pada putaran 3000 rpm daya maksimal dihasilkan saat timing dimajukan 1°.

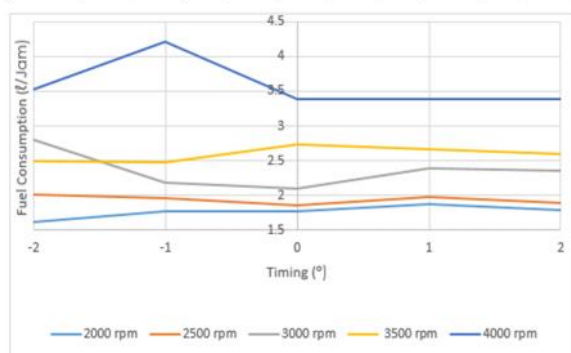
Pada putaran 3500 rpm, timing top menghasilkan daya sebesar 58,75 Hp, jika pengapian dimajukan 1° daya yang dihasilkan naik menjadi 60,47 Hp dan saat dimajukan 2° daya tersebut semakin meningkat menjadi sebesar 60,63 Hp. Pada saat timing dimundurkan 1° daya yang dihasilkan naik menjadi sebesar 59,13 Hp, jika timing dimundurkan 2° daya yang dihasilkan kembali turun menjadi sebesar 58,22 Hp. Pada putaran 2500 rpm daya maksimal dihasilkan saat timing dimajukan 2°.

Pada putaran 4000 rpm, timing top menghasilkan daya sebesar 70,16 Hp, jika pengapian dimajukan 1° daya yang dihasilkan naik menjadi

71,53 Hp dan saat dimajukan 2° daya tersebut semakin meningkat menjadi sebesar 70,71 Hp. Pada saat timing dimundurkan 1° daya yang dihasilkan mengalami penurunan menjadi sebesar 69,76 Hp, jika timing dimundurkan 2° daya yang dihasilkan mengalami peningkatan menjadi sebesar 70,61 Hp. Pada putaran 4000 rpm daya maksimal dihasilkan saat timing dimajukan 1°.

Tabel 4. Konsumsi bahan bakar (ℓ/Jam)

Timing	2000 rpm	2500 rpm	3000 rpm	3500 rpm	4000 rpm
-2	1,61	2,01	2,80	2,50	3,52
-1	1,77	1,96	2,18	2,47	4,21
Top	1,77	1,86	2,10	2,73	3,38
+1	1,88	1,98	2,39	2,67	3,38
+2	1,79	1,90	2,36	2,59	3,39



Gambar 3. Grafik Antara Timing Dan Konsumsi Bahan Bakar

Pada grafik diatas terlihat pada putaran 2000 rpm timing top nilai FC sebesar 1,77 ℓ/Jam. Pada saat timing dimajukan 1° nilai FC mengalami peningkatan menjadi sebesar 1,88 ℓ/jam dan saat timing dimajukan 2° nilai FC mengalami penurunan menjadi sebesar 1,79 ℓ/Jam. pada saat timing dimundurkan 1° nilai FC tetap sebesar 1,77 ℓ/jam dan pada saat timing dimundurkan 2° nilai FC semakin menurun menjadi sebesar 1,61 ℓ/jam. pada putaran 2000 rpm FC terendah dihasilkan pada saat timing dimundurkan 2°.

Pada putaran 2500 rpm nilai FC saat timing top sebesar 1,86 ℓ/Jam, setelah timing dimajukan 1° nilai FC mengalami peningkatan menjadi sebesar 1,98 ℓ/Jam dan ketika dimajukan 2° nilai FC mengalami penurunan menjadi sebesar 1,90 ℓ/Jam. Pada saat timing dimundurkan 1° nilai FC mengalami peningkatan menjadi sebesar 1,96 ℓ/Jam dan semakin meningkat pada saat timing dimundurkan 2° menjadi sebesar 2,01 ℓ/Jam. Pada putaran 2500 rpm nilai FC terendah dihasilkan pada saat timing top.

Pada putaran 3000 rpm nilai FC saat timing top sebesar 2,10 ℓ/Jam, setelah timing dimajukan 1° nilai FC mengalami peningkatan menjadi sebesar 2,39 ℓ/Jam dan ketika dimajukan 2° nilai FC menurun menjadi sebesar 2,36 ℓ/Jam. Pada saat timing dimundurkan 1° nilai FC mengalami peningkatan menjadi sebesar 2,18 ℓ/Jam dan semakin naik pada saat timing dimundurkan 2° menjadi sebesar 2,80

ℓ/Jam. Pada putaran 3000 rpm nilai FC terendah dihasilkan pada saat timing top.

Pada putaran 3500 rpm nilai FC saat timing top sebesar 2,73 ℓ/Jam, setelah timing dimajukan 1° nilai FC mengalami penurunan menjadi sebesar 2,67 ℓ/Jam dan ketika dimajukan 2° nilai FC menurun menjadi sebesar 2,59 ℓ/Jam. pada saat timing dimundurkan 1° nilai FC mengalami penurunan menjadi sebesar 2,47 ℓ/Jam dan kembali meningkat pada saat timing dimundurkan 2° menjadi sebesar 2,50 ℓ/Jam. Pada putaran 3500 rpm nilai FC terendah dihasilkan pada saat timing dimundurkan 1°.

Pada putaran 4000 rpm nilai FC saat timing top sebesar 3,38 ℓ/Jam, setelah timing dimajukan 1° nilai FC tetap sebesar 3,38 ℓ/Jam dan ketika dimajukan 2° nilai FC meningkat menjadi sebesar 3,39 ℓ/Jam. Pada saat timing dimundurkan 1° nilai FC mengalami peningkatan menjadi sebesar 4,21 ℓ/Jam dan mengalami penurunan pada saat timing dimundurkan 2° menjadi sebesar 3,52 ℓ/Jam. Pada putaran 4000 rpm nilai FC terendah dihasilkan pada saat timing top dan dimajukan 1°.

Berdasarkan analisa diatas terjadi fluktuasi nilai FC tetapi tidak terjadi perbedaan yang sangat signifikan dan cenderung konstan pada setiap variasi timing pengapian. Fluktuasi tersebut terjadi karena putaran mesin yang tidak stabil saat pengambilan data setiap variasi timing pengapian. Nilai FC semakin kecil apabila berada pada putaran mesin rendah yaitu pada putaran 2000 rpm karena pada putaran tersebut adalah putaran terendah dari semua variasi yang dilakukan. Semakin tinggi putaran mesin maka nilai FC akan semakin besar karena mesin membutuhkan bahan bakar yang lebih banyak dalam setiap kenaikan putaran mesin.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa tersebut maka dapat disimpulkan perubahan timing pengapian sangat berpengaruh pada torsi, daya dan konsumsi bahan bakar yang dihasilkan. Torsi dan Daya terbaik dihasilkan pada saat timing dimajukan 1° pada putaran mesin 4000 rpm karena busi memercikkan bunga api lebih awal sehingga akhir proses pembakaran terjadi pada saat piston berada sesaat di TMA dan mempercepat proses pembakaran yang mengakibatkan langkah ekspansi menjadi lebih besar (panjang) untuk menghasilkan pembakaran yang optimal sehingga berpengaruh pada besarnya torsi dan daya yang dihasilkan. Hasil konsumsi bahan bakar terendah dihasilkan pada timing -2° pada putaran 2000 rpm. Nilai FC semakin kecil apabila berada pada putaran mesin rendah yaitu pada putaran 2000 rpm karena pada putaran tersebut adalah putaran terendah dari semua variasi yang dilakukan. Semakin tinggi putaran mesin maka nilai FC akan semakin besar karena mesin membutuhkan bahan bakar yang lebih banyak dalam setiap kenaikan putaran mesin.

Daftar Pustaka

- [1] Mahmud, Syahril Dkk., 2013, *Pengaruh Variasi Unjuk Derajat Pengapian Terhadap Kerja Mesin*, Jurnal Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Janabadra Yogyakarta Vol.3 No.1, PP. 58-64.
- [2] Solikhin, Himawan, 2015, *Daya dan Torsi Mesin Toyota Kijang Innova Menggunakan Bahan bakar Pertamina plus*, Universitas Negeri Semarang.
- [3] Endratoro, Henu, Pradipta. Siregar, Indra, Herlamba, 2013, *Variasi Waktu Pengapian Terhadap Performa dan Emisi Mesin Satu Silinder Dengan Pemanas*, Jurnal Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya Vol.1 No.2 , pp. 221-230.
- [4] Udin, ARA, 2014, *Motor Bensin*, Yogyakarta, Deepublish
- [5] PT. NISSAN MOTOR INDOESIA. 2010, *Buku Panduan Training N-STEP 1*, Jakarta.
- [6] Murdianto, Imam, 2016, *Perbedaan Performa (Daya dan Torsi, Konsumsi Bahan Bakar) Menggunakan Injektor Standard dan Injektor Racing Dengan Bahan Bakar Pertamina dan Pertamina Plus Pada Sepeda Motor V-xion*, Semarang, Universitas Negeri Semarang.
- [7] Basyirun, Winarno, Karnowo, 2008, *Mesin Konversi Energi*, Universitas Negeri Semarang.



Bastian Yuda Kriswinarto telah menyelesaikan pendidikan program sarjana S1 di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bali, dari tahun 2015 sampai 2020. Menyelesaikan studinya dengan topic “Pengaruh Variasi Timing Pengapian Terhadap Torsi, Daya Dan SFC Mesin Injeksi 1500 CC”.

Bidang yang diminati adalah topik yang berkaitan dengan Teknik Mesin dan Konversi Energi. Saat ini sedang bekerja sebagai teknisi di PT. WAHANA WIRAWAN Jl By Pass Ngurah Rai No. 79 Kedonganan Kecamatan Kuta Selatan Kabupaten Badung Provinsi Bali.

Sifat Mekanis Sambungan *Dissimilar Stainless Steel 304* – Baja Karbon ST 37 Dengan Variasi Diameter *Spot Welding Electrode Taper*

N. Agus Surya P, IN. Budiarsa, ING. Antara.

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Penelitian ini yang bertujuan untuk mengetahui sifat mekanis dalam sambungan *Dissimilar Stainless Steel 304* – Baja Karbon ST 37 dengan diameter *Spot Welding Electrode Taper* 4 mm dan 5 mm dan mengetahui diameter *Spot Welding Electrode Taper* yang sesuai pada sambungan *Dissimilar Stainless Steel 304* – Baja Karbon ST 37. Penelitian ini menggunakan 3 metode pengujian dalam mengetahui sifat mekanis dalam sambungan *Dissimilar Stainless Steel 304* – Baja Karbon ST 37 dengan diameter diameter *Spot Welding Electrode Taper* 4 mm dan 5 mm, yaitu uji tarik untuk logam induk (*Base Metal*), uji geser dan uji kekerasan *Vickers* pada sambungan las (*Weld Joint*). Berdasarkan data yang diperoleh, penelitian ini mendapatkan diameter *spot welding electrode taper* yang tepat pada sambungan *Dissimilar Stainless Steel 304* – Baja Karbon ST 37 yaitu diameter *Spot Welding Electrode Taper* 5 mm dilihat dari data pengujian uji geser mendapatkan rata-rata Regangan 3,619 – Tegangan Geser Maksimum 58,64 MPa. Pada uji kekerasan *vickers* mendapatkan HVN rata-rata daerah las 334,926.

Kata kunci: *Spot Welding, Dissimilar, Tarik, Geser, Kekerasan*

Abstract

This study aims to determine the mechanical properties of *Dissimilar joints, Stainless Steel 304 - ST 37 Carbon Steel* with 4 mm and 5 mm *Spot Welding Electrode Taper* and find out the diameter of *Spot Welding Electrode Taper* that is suitable for *Dissimilar Stainless Steel 304 - ST 37 Carbon Steel joints*. This study uses 3 testing methods in knowing the mechanical properties in the *Dissimilar Stainless Steel 304 - Carbon Steel ST 37 connection Spot Welding Electrode Taper 4 mm and 5 mm*, namely the tensile test for base metal, shear test and *Vickers hardness test* on welding joint (*weld joint*). Based on the data obtained, this study obtained the exact *spot welding electrode taper size* at *304 Dissimilar Stainless Steel 304 - Carbon Steel ST 37 connections* namely 5 mm *Spot Welding Electrode Taper* seen from the shear test test data to get 3,619 strain - maximum shear stress of 58,64 MPa. In the hardness test the *vickers* get an average HVN of the welding area of 334,926

Keywords: *spot welding, dissimilar, tensile, shear, hardness*

1. Pendahuluan

Joining (Penyambungan) adalah dimana salah satu proses penting diantaranya dengan cara pengelasan. Pengelasan merupakan cara menyambungkan logam yang sering digunakan dikarenakan pengelasan memiliki kelebihan yaitu hasil sambungannya lebih kuat, mudah untuk pemakaiannya, harga bersahabat dan sangat efisien [1].

Spot welding merupakan metode penyambungan (*joining*) yang umumnya digunakan sebagai meyambung lembaran logam pada industri otomotif [2]. *Spot welding* mempunyai keunggulan yang dimana dibedakan pada metode pengelasan lainnya, hasil sambungannya rapi, sambungannya lebih rapat, dan pengoperasiannya relatif lebih mudah dibandingkan dengan metode pengelasan lainnya serta tidak memerlukan logam pengisi (*filler*) [3].

Kualitas, karakteristik dan kekuatan pengelasan las titik (*spot welding*) dipengaruhi dari beberapa faktor antarlain ketebalan plat (*sheet*), diameter *spot welding electrode taper*, waktu pengelasan, arus pengelasan yang digunakan dan tekanan yang dihasilkan pada saat melakukan pengelasan. Kualitas, karakteristik dan kekuatan hasil sambungan las titik terkait ketebalan plat (*sheet*) serta besarnya diameter

spot welding electrode taper dalam menghasilkan (*nugget*) sangat penting dalam penyambungan pelat dalam perakitan (*body*) mobil sebagai bagian yang menentukan kelayakan, kualitas dan keamanan alat transportasi [4].

Salah satu teknik penyambungan yang dikembangkan saat ini adalah teknik penyambungan (*dissimilar metal*) atau dua jenis logam yang tidak sejenis. Sambungan logam tidak sejenis atau (*dissimilar metal*) merupakan penyambungan dua jenis logam yang berbeda sifat dan karakteristiknya dengan cara dilas.

Berdasarkan pendahuluan diatas akan dilakukan penelitian mengenai sejauh mana pengaruh diameter *spot welding electrode taper* pengelasan titik (*spot welding*) dengan sifat mekanis dari sambungan *dissimilar stainless steel 304* dan baja karbon ST 37.

2. Dasar Teori

2.1 Las Titik (*Spot Welding*)

Spot welding, yang dimana permukaan pada pelat yang disambungkan dengan cara ditekan diantara *spot welding electrode taper* dan saat bersamaan arus listrik dialirkan sehingga dipermukaan logam yang menyebabkan mencair kemudian menyatu disebabkan oleh resistansi listrik.

Oleh karena itu dapat dilihat dari rumus sebagai berikut [5]:

$$H = I^2 \cdot R \cdot T \tag{1}$$

Dimana:

- H : Total heat input (Joule)
- I : Arus (Ampere)
- R : Resistansi elektrik dari sirkuit (Ω)
- T : Waktu pengelasan (detik)

2.2 Spot Welding Electrode Taper

Spot welding electrode taper terletak pada ujung welding gun yang memiliki fungsi menghasilkan tekanan benda yang kerja. Selain memberikan tekanan, spot welding electrode taper juga memiliki aliran arus yang berjumlah besar untuk proses pengelasan pada las titik. Spot welding electrode taper dibuat dari bahan tembaga karena mempunyai titik lebur yang beda dari benda yang akan dilas, sehingga proses dari pengelasan selesai spot welding electrode taper tidak akan menempel atau menyatu saat benda kerja.

2.3 Stainless Steel 304

Stainless steel adalah baja paduan yang kandungannya sedikit yaitu 11,5% krom berdasar dari beratnya. *Stainless steel* mempunyai sifat yang tidak mudah terkorosi atau berkarat seperti logam baja yang lain. *Stainless steel* berbeda dari baja biasanya dilihat pada kandungan kromnya. Berdasarkan ASTM A240, komposisi kimia dari Stainless steel (SS) 304, Sebagai berikut :

Tabel 1. Komposisi SS 304 [6]

Komposisi Kimia (%)							
C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Fe
0.042	1.19	0.034	0.006	0.049	18.24	8.15	-

2.4 Baja Karbon ST 37

Unsur kandungan baja akan berpengaruh pada sifat mekanis. Tipe baja biasanya ditentukan berdasarkan kandungan yang dimiliki di dalam unsur karbon terdapat didalam material baja. Berikut tabel kandungan unsur pada baja ST 37 dalam material.

Tabel 2 Komposisi Baja ST 37 [7]

Komposisi Kimia (%)							
C	P	S	Mn	Si	Cu	Al	Fe
0.12	0.04	0.05	0.50	0.10	0.10	0.02	Sisa

2.5 Uji Tarik

Suatu pengujian digunakan saat menguji kekuatan suatu material. Cara memberikan beban atau gaya dengan arah yang searah [8]. Pengujian Tarik, gaya Tarik yang secara berkala dan perlahan-lahan bertambah besar, dengan dilakukan observasi mengenai perpanjangan yang dilibatkan oleh benda yang diuji. Kemudian dihasilkan kurva tegangan dan regangan.

$$\sigma = F/A \tag{2}$$

- Dimana : σ : Tegangan (N/mm^2)
- F : Gaya (N)
- A : Luas awal penampang (mm^2)

Regangan yang digunakan pada kurva di dapatkan dengan cara membagi pertambahan panjang benda uji pada panjang awal. Persamaannya yaitu:

$$\epsilon = \frac{L_f - L_o}{L_o} \times 100\% \tag{3}$$

- Dimana : ϵ : Regangan
- L_f : Panjang Akhir (mm)
- L_o : Panjang Awal (mm)

2.6 Uji Geser

Kekuatan geser adalah sifat mekanik logam yang penting. Kekutan geser suatu bahan dapat diketahui dengan menguji tarik atau pengujian geser pada bahan yang bersangkutan. Perbedaan pengujian tarik dengan pengujian geser adalah pada gaya yang bekerja pada saat proses pengujian berlangsung, gaya yang terjadi pada saat pengujian tarik adalah gaya arah memanjang (*longitudinal*), sedangkan gaya yang terjadi pada saat pengujian geser adalah gaya arah vertical. Uji geser akan didapatkan sifat sifat sebagai berikut:

$$\tau = \frac{F}{A} \tag{4}$$

- Dimana: τ : Kekuatan geser material (N/mm^2)
- F : Beban (Kg)
- A : Luas penampang (mm^2).

Regangan yang diperoleh yaitu regangan linear rata-rata, yang didapatkan melalui membagi perpanjangan (*gauge length*) pada benda uji, dengan panjang awal.

$$\gamma = \frac{\tau}{G} \tag{5}$$

- Dimana, γ : Regangan
- τ : Tegeangan geser satuan
- G : Modulus Elastisitas Geser

2.7 Uji Kekerasan

Kekerasan suatu material yaitu suatu sifat mekanis dari material tersebut [9]. Kekerasan suatu material adalah menunjukkan suatu ketahanan dari material terhadap deformasi plastis. Percobaan kekerasan *Vicker*, menggunakan indentor bentuk *pyramid* pada bujur sangkar (*a square-base diamond pyramid*) dari bahan intan. Sudut puncak pyramid adalah 136° [10]. Karena bentuk dari kekerasan ini sering disebut "*Diamond Pyramid Hardness Test*". Angka kekerasan pengujian vickers adalah besarnya beban (P) dibagi dengan luas indentasi biasanya diukur dengan mikroskop dengan mengukur diagonal-diagonalnya. keke-asaan Vickers dihitung dengan :

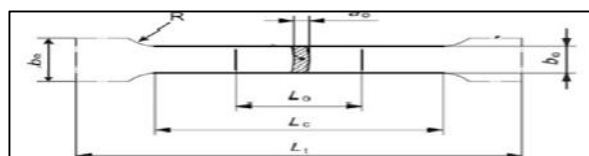
$$HV_N = \frac{2 \times P \times \sin\left(\frac{136}{2}\right)}{d^2} \tag{6}$$

$$HV_N = 1,854 \frac{P}{d^2} \left(\frac{kg}{mm^2}\right) \tag{7}$$

3. Metode Penelitian

3.1 Bentuk Spesimen Uji Tarik

Spesimen untuk pengujian uji tarik menggunakan standar ISO 6892-1:2009.



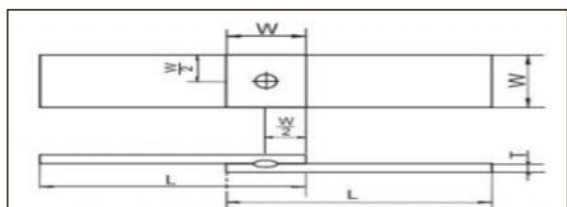
Gambar 1. Spesimen Uji Tarik Standar ISO 6892-1:2009

Dimana :

- Lo = Panjang awal pengukuran (80 mm)
- Lc = Panjang Paralel (130 mm)
- Lt = Panjang Total (200 mm)
- bo = Lebar pengukuran (20 mm)
- be = Lebar grip (25 mm)
- R = Radius (25 mm)

3.2 Bentuk Spesimen Uji Geser

Spesimen untuk pengujian geser menggunakan standar r jJIS Z 3139.



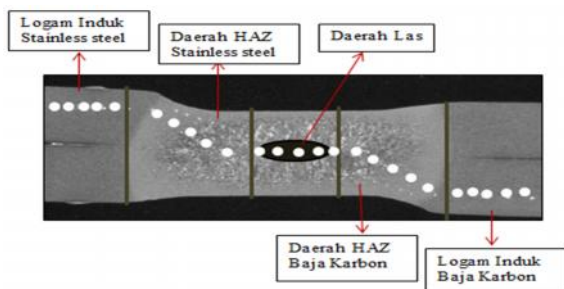
Gambar 2. Spesimen Uji Geser Standar JIS Z 3139

Dimana :

- L = Panjang Spesimen (150 mm)
- W = Lebar (30 mm)

3.3 Bentuk Spesimen Uji Kekerasan Vickers

Spesimen untuk pengujian kekerasan menggunakan standar ASTM E 384 – 10.



Gambar 3. Spesimen Uji kekerasan Standar ASTM E 384-10

4. Hasil dan Pembahasan

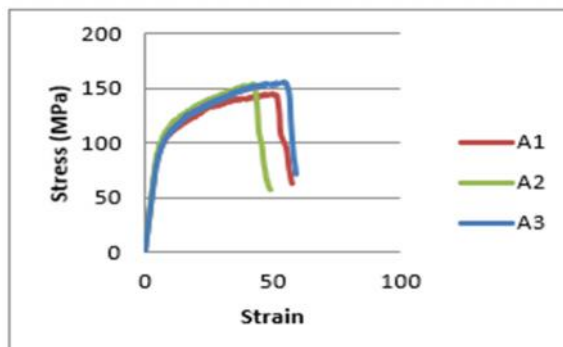
Penelitian mengenai sifat mekanis sambungan dissimilar stainless steel 304-baja karbon st 37 divariasikan pada diameter *spot welding electrode taper* pada penelitian ini didapat hasil dari pengujian, meliputi uji tarik, uji geser dan uji kekerasan *vickers*. Dari pengujian ini dilakukan analisis dan pembahasan guna mendapat kesimpulan yang sesuai dengan tujuan penelitian.

4.1. Hasil Pengujian Uji Tarik Pada Logam Induk

Dalam pengujian uji tarik pada logam induk yang dapat diperoleh dari kedua spesimen yaitu *Stainless steel* 304 ketebalan 1 mm dan Baja karbon St 37 ketebalan 1mm, maka hasil pengujian tarik pada logam induk ini dapat ditunjukkan dalam grafik berikut.

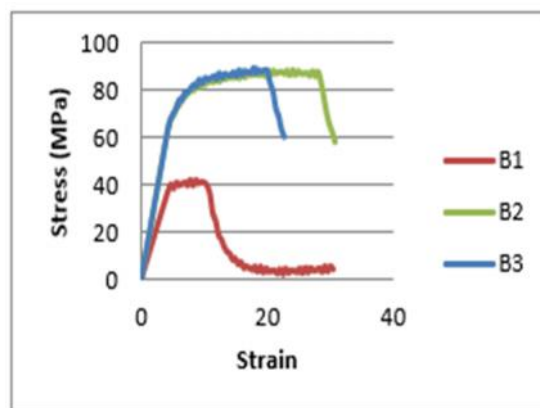
Berdasarkan hasil pengujian tarik yang di gambarkan dalam grafik pada Gambar 5 menunjukkan tiga spesimen yang di uji tarik pada material Baja Karbon ST 37 sebagai logam induk

dari jumlah tegangan tarik maksimum yaitu 72,867 MPa dan rata-rata regangan sebesar 17,942.



Gambar 4 Grafik Tegangan – Regangan Logam induk *Stainless Steel* 304 Ketebalan 1 mm (A1,A2 dan A3)

Berdasarkan hasil pengujian tarik yang di gambarkan dalam grafik pada Gambar 4 diatas menunjukkan tiga spesimen yang di uji tarik pada material *Stainless Steel* 304 sebagai logam induk dengan rata-rata tegangan tarik maksimum sebesar 144,520 MPa dan rata-rata regangan sebesar 50,144



Gambar 5. Grafik Tegangan – Regangan Logam induk Baja Kaarbon St 37 Ketebalan 1 mm (B1,B2 dan B3)

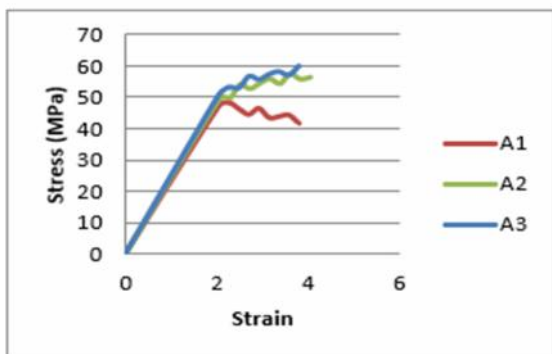
4.2 Hasil Pengujian Uji Geser Pada Sambungan Las

Pengujian geser pada sambungan las yang dapat diperoleh dari kedua spesimen yaitu diameter *welding electrode taper* 4 mm dan 5 mm, maka hasil pengujian geser pada sambungan las ini dapat ditunjukkan dalam grafik berikut:

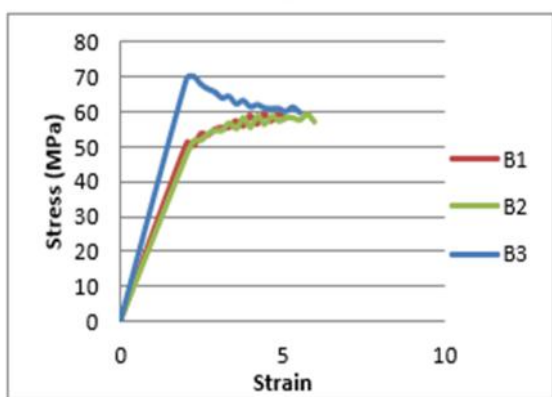
Berdasarkan hasil pengujian tarik yang di gambarkan dalam grafik pada Gambar 6 diatas menunjukkan tiga spesimen yang di uji geser pada sambungan dissimilar dengan *spot welding electrode taper* 4 mm dengan rata-rata rata-rata tegangan geser maksimum sebesar 51,556 MPa dan rata-rata regangan sebesar 3,627.

Berdasarkan hasil pengujian geser yang di gambarkan dalam grafik pada Gambar 7 menunjukkan tiga spesimen yang di uji geser pada sambungan dissimilar dengan *spot welding electrode taper* 5 mm dengan rata-rata tegangan geser

maksimum sebesar 58,64 MPa dan rata-rata regangan sebesar 3,619.



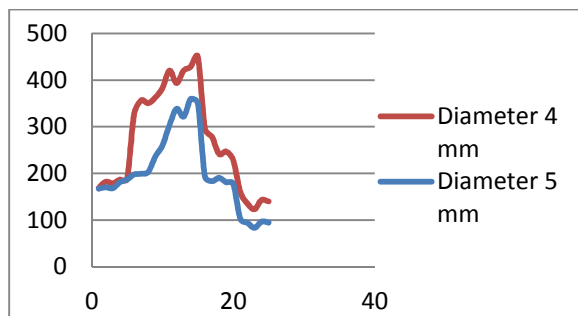
Gambar 6. Grafik Tegangan – Regangan Geser Spot Welding Electrode Taper 4 mm (A1,A2, dan A3)



Gambar 7. Grafik Tegangan – Regangan Geser Spot Welding Electrode Taper 5 mm (B1,B2, dan B3)

4.3. Hasil Pengujian Uji Kekerasan Vickers

Pengujian uji kekerasan *vickers* yang dilakukan mendapatkan data yang akan di olah dalam bentuk tabel dan grafik dengan pembahasan teoritis yang sesuai dengan permasalahan yang diteliti. Pengujian ini dilakukan menggunakan metode uji kekerasan *vickers* dengan bebanan 10 kg. Pada pengujian ini dilakukan pengujian sebanyak 25 titik pada setiap spesimen.



Gambar 8. Grafik Uji Kekerasan Vickers Spot Welding Electrode Taper Diameter 4 mm dan 5 mm

Berdasarkan hasil pemaparan uji kekerasan vickers yang di gambarkan digrafik pada Gambar 8 diatas menunjukkan dua spesimen yang di uji kekerasan vickers pada sambungan *dissimilar* dengan *spot welding electrode taper* 4 mm dan 5 mm nilai kekerasan terendah yaitu spesimen diameter spot welding electrode taper 5 mm.

5. Kesimpulan

Dari Penelitian yang dilakukan pada sambungan *Dissimilar Stainless Steel* 304 – Baja Karbon ST 37 dengan variasi *Spot Welding Electrode Taper* 4 mm dan 5 mm dapat dijabarkan sebagai berikut :

- Hasil pengujian tarik pada logam induk stainless steel 304 ketebalan 1 mm maka didapatkan, rata-rata tegangan tarik maksimum sebesar 144,520 MPa dan rata-rata regangn sebesar 50,144 pada logam induk Baja karbon ST 37 ketebalan 1 mm di dapatkan, hasil tegangan tarik maksimum yaitu 72,867 MPa dan rata-rata regangan sebesar 17,942.
- Hasil pengujian geser dengan spot welding electrode taper 4 mm maka didapatkan, rata-rata tegangan geser maksimum sebesar 51,556 MPa dan rata-rata regangan sebesar 3,627 dengan spot welding electrode taper 5 mm maka didapatkan, rata-rata tegangan geser maksimum sebesar 58,64 MPa dan rata-rata regangan sebesar 3,619.
- Hasil pengelasan sambungan dissimilar stainless steel 304 – baja karbon ST 37 pada spot welding electrode taper 4 mm dimana nilai HVN rata-rata daerah las sebesar 422,594 Kg/mm² dan pada spot welding electrode taper 5 mm dimana nilai HVN rata-rata daerah las sebesar 334,926 Kg/mm².

Daftar Pustaka

- [1] Purwaningrum, Y., Fatchan, M., 2013, *Pengaruh Arus Listrik Terhadap Karakteristik Fisik - Mekanik Sambungan Las Titik Logam Dissimilar Al - Steel*. Jurnal Teknik Mesin, Vol. 15 No., pp. 16-22.
- [2] Ishak M., Shah, dkk., 2014, *Studi Of Resistance Spot Welding Between AISI 301 Stainless Steel And AISI 1020 Carbon Steel Dissimilar Alloy*, Journal of Mechanical Engineering and Sciences (JMES), Vol 6, pp. 793-806.
- [3] Diyatmoko H., 2004, *Penelitian Tentang Pengaruh Waktu Dan Penekanan Pengelasan Titik Pada Baja Tahan Karat AISI 430 Terhadap Struktur Mikro, Nilai Kekerasan Dan Nilai Kekuatan Gesernya*, Jurnal Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- [4] Budiarsa IN., IM. Astika, ING. Antara, IMG. Karohika, 2019, *Optimization On Streght*

- Spot Welding Joint Trough Finite Element Modeling Indentation Approach*, Material Science and Engineering, Vol. 539, No1, 012042.
- [5] Wiryosumatro H., Okumura T., 1981, *Teknologi Pengelasan Logam*, Cetakan Kedelapan, PT Pradaya Paramita, Jakarta.
- [6] Sumarji, 2011, *Studi Perbandingan Ketahanan Korosi Stainless Steel Tipe SS 304 dan SS 201 Menggunakan Metode U-Bend Test Secara Siklik Dengan Variasi Suhu dan Ph*. Jurnal ROTOR, Vol. 4 No. 1.
- [7] Hendi Saputra, Achmad Syarief, Yassyir Maulana, 2014, *Analisis Pengaruh Media Pendingin Terhadap Kekuatan Tarik Baja ST 37 Pasca Pengelasan Menggunakan Las Listrik*, Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Unlam, Vol. 3 No. 2, pp. 91-98.
- [8] Askeland, D.R., 1985, *The Science and Engineering of Material*, Alternate Edition, PWS Engineering, Boston, USA.
- [9] Budiarsa IN., ING Antara., IMG Karohika., 2019, *Indentation Size Effect of the Vickers Indentation to Improve the Accuracy of Inverse Materials Properties Modeling Based on Hardness Value, Earth and Environmental Science*, 248(1), 012009.
- [10] Budiarsa IN., ING Antara., IM Astika., IW Widhiada, 2019, *Determining Plastic Properties of Material Through Instrumented Indentation Approach*, *Internasional Journal of Advanced Research in Engineering and Technology*, 10 (1)



Nyoman Agus Surya P. menyelesaikan studi di SMAN 2 Denpasar pada tahun 2016, lalu melanjutkan perkuliahan di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana pada tahun 2016, dan menyelesaikannya studi pada tahun 2020.

Bidang penelitian yang m m.l,l,lnhkoji diminati adalah rekayasa manufaktur, mengenai logam dan spot welding

Karakteristik Fisik dan Mekanik Biokomposit Serat Pelepeh Pisang Resin Getah Pinus dengan Variasi NaOH 2%, 5%, dan 10%

Kadek Yudi Pradnyana P., Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati, I Wayan Surata
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Sejalan dengan peningkatan kesadaran untuk menjaga lingkungan, maka komposit dengan serat alami dan resin alami memiliki potensi untuk menjadi alternatif sebagai pengganti komposit sintetis karena sifatnya yang dapat terdegradasi oleh alam. Salah satu bahan alam yang dapat digunakan sebagai biokomposit adalah serat pelepeh pisang dengan resin getah pinus. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik fisik dan mekanik dari biokomposit dengan perlakuan serat menggunakan variasi NaOH 2%, 5%, dan 10%. Dengan dilakukan pengujian densitas (ASTM D792-08), pengujian kekuatan bending (ASTM D790), dan SEM. Hasil dari pengujian densitas menunjukkan bahwa biokomposit dengan variasi persentase NaOH 2% memiliki nilai densitas sebesar 1,055 g/cm³. Hasil dari pengujian bending menunjukkan bahwa biokomposit dengan variasi persentase NaOH 2% memiliki nilai kekuatan bending paling tinggi. Dimana nilai tegangan bending sebesar sebesar 4,237 MPa, nilai regangan bending sebesar 0,053, dan nilai modulus elastisitas sebesar 432,709 MPa. Foto hasil uji SEM (*Scanning Electron Microscope*) menunjukkan bahwa morfologi permukaan dengan perlakuan NaOH dapat membersihkan lapisan lignin yang ada pada serat.

Kata kunci: biokomposit, serat pelepeh pisang, getah pinus, NaOH

Abstract

In line with increasing awareness to protect the environment, composites with natural fibers and natural resins have the potential to become alternatives to synthetic composites because of their nature which can be degraded by nature. One of the natural ingredients that can be used as biocomposites is banana frond fiber with pine resin. This study aims to determine the physical and mechanical characteristics of biocomposites with fiber treatment using variations of NaOH 2%, 5%, and 10%. With density testing (ASTM D792-08), bending strength testing (ASTM D790), and SEM. The results of the density test showed that biocomposites with a variation of 2% NaOH had a density value of 1.055 g / cm³. The results of bending tests indicate that biocomposites with a variation of 2% NaOH have the highest bending strength values. Where the bending stress value is 4.237 MPa, the bending strain value is 0.053, and the modulus of elasticity value is 432,709 MPa. Photograph of SEM (Scanning Electron Microscope) test results shows that surface morphology with NaOH treatment can clean the lignin layer present in the fiber

Keywords: biocomposite, banana frond fiber, pine resin, NaOH

1. Pendahuluan

Sejalan dengan peningkatan kesadaran untuk menjaga lingkungan, maka komposit dengan serat alami dan resin alami memiliki potensi untuk menjadi alternatif sebagai pengganti komposit sintetis. Jenis komposit yang salah satu penyusunnya atau matriksnya berasal dari bahan alam disebut biokomposit. Biokomposit memiliki kemampuan terdegradasi dengan baik (*biogradable*). Salah satu bahan alam yang dapat digunakan sebagai biokomposit adalah serat pelepeh pisang dengan resin getah pinus. Pelepeh pisang yang akan digunakan berjenis pisang kapok (*Musa sp.*) yang tumbuh di kecamatan Kediri, Tabanan. Serat pelepeh pisang ini nantinya akan diberikan perlakuan NaOH dengan variasi 2%, 5%, dan 10%. Sedangkan getah pinus yang akan digunakan diperoleh dari hasil penyadapan pohon pinus (*Pinus Merkusii jungh, et deVries*) yang tumbuh terbesar di kawasan hutan Bali Timur Provinsi Bali.

Dalam hal ini maka ada beberapa rumusan masalah yang akan dikaji:

1. Bagaimana kekuatan bending biokomposit serat pelepeh pisang resin getah pinus dengan perlakuan NaOH.
2. Bagaimana densitas biokomposit serat pelepeh pisang resin getah pinus dengan perlakuan NaOH.
3. Bagaimana morfologi permukaan biokomposit serat pelepeh pisang resin getah pinus yang diberi perlakuan NaOH.

Beberapa batasan ditetapkan dalam penelitian ini meliputi:

1. Penelitian ini menggunakan jenis getah pinus merkusii *Jungh. Et de Vries* yang tumbuh di hutan KPH Bali Timur.
2. Pisang jenis pisang kapok (*Musa Sp*) yang tumbuh di kecamatan Kediri, Tabanan.
3. Penelitian ini menggunakan suhu pada saat heat treatment getah pinus sebesar 170⁰C.
4. Menggunakan tiga pelepeh yang terhitung dari luar.
5. Kecepatan pengaduk pada saat heat treatment getah pinus sebesar 600 rpm dengan holding time selama 10 menit.

6. Penelitian ini dilakukan dengan mengabaikan hasil uap dan terptentin pada heat treatment.

2. Dasar Teori

2.1. NaOH

Menurut penelitian [1] menerangkan bahwa perendaman dengan NaOH bertujuan untuk membersihkan kotoran (*impurities*) dan lapisan-lapisan lignin pada permukaan serat yang dapat menimbulkan lapisan batas (*boundary layer*) antara resin dan serat.

2.2. Uji Densitas

Pengujian densitas dilakukan untuk mengetahui massa jenis. Menurut penelitian [2] Apabila bentuk benda uji tidak teratur, maka pengujian densitas ini dilakukan dengan menggunakan prinsip piknometer. Perhitungannya dengan cara sbb:

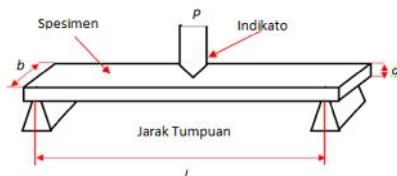
$$\rho = \frac{ms}{mb - (mg - mk)} \times \rho_{H_2O} \quad (1)$$

Dimana :

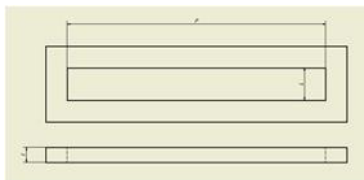
- ρ = massa jenis benda (gr/cm^3)
- ms = massa spesimen kering (gr)
- mb = massa spesimen basah (gr)
- mg = massa spesimen digantung dengan kawat di dalam air (gr)
- mk = massa kawat (gr)
- ρ_{H_2O} = massa jenis aquades (gr/cm^3)

2.3. Uji Bending

Pengujian bending dilakukan untuk mengetahui tegangan bending, regangan bending serta modulus elastisitas terbesar yang dapat diterima oleh komposit. Pada perhitungan kekuatan bending ini, digunakan persamaan, skema dan dimensi yang ada pada standar ASTM D790 ditunjukkan pada gambar 1 dan 2 yaitu :



Gambar 1. Skema uji bending



Gambar 2. Dimensi spesimen uji bending

Keterangan :

- Panjang : 120 mm
- Lebar : 15 mm
- Tebal : 7 mm

Tegangan bending

$$\sigma_L = \frac{3P \cdot L}{2b \cdot d^2} \quad (2)$$

Dimana :

- σ_L = Tegangan bending (MPa)

P = Beban (N)

L = Panjang Span (mm)

b = Lebar benda uji (mm)

d = Tebal benda uji (mm)

Regangan bending

$$\epsilon_L = \frac{6\delta \cdot d}{L^2} \quad (3)$$

Dimana :

ϵ_L = Regangan Bending (mm/mm)

δ = Defleksi Benda Uji (mm)

L = Support Span

d = Tebal benda Uji

Modulus elastisitas

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

Dimana :

E_L = Modulus Elastisitas Bending (MPa)

L = Support Span (mm)

b = Lebar benda uji (mm)

d = Tebal benda uji (mm)

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

3. Metode Penelitian

3.1. Menghitung Massa Jenis Bahan Penelitian

Massa jenis serat pelepah pisang dan getah pinus perlu diketahui untuk menghitung perbandingan fraksi volume serat pelepah pisang dan getah pinus. Merujuk pada penelitian [3] rata rata serat pelepah pisang memiliki massa jenis sebesar = $0,777 gr/cm^3$. Dan pada penelitian [4] getah pinus memiliki masa jenis sebesar = $1,1 gr/cm^3$.

3.2. Proses Pembuatan Spesimen

1. Ukur serat dan getah pinus sesuai dengan fraksi volume yang akan dibuat



Gambar 3. Menimbang serat pelepah pisang

2. Melakukan pemanasan getah dipanaskan dengan suhu $170^{\circ}C$ selama 10 menit dan kecepatan 600 Rpm



Gambar 4. Memanaskan getah

- Setelah getah sudah mencapai waktu yang ditentukan maka getah tersebut dicampur dengan serat pelepah pisang yang sudah mendapatkan perlakuan NaOH.



Gambar 5. Mencampur getah dengan serat

- Siapkan cetakan Spesimen yang telah terbungkus oleh aluminium foil.



Gambar 6. Cetakan spesimen

- Kemudian masukan diratakan sesuai dengan ukuran yang sudah ditentukan kemudian ditekan sehingga padat sampai menemukan ketebalan yang diinginkan.



Gambar 7. Mencetak spesimen

- Kemudian menunggu sampai spesimen mengering dan mengeras.
- Lalu setelah kering, lepaskan spesimen tersebut dari cetakan secara perlahan dan secara hati – hati agar spesimen tidak rusak.

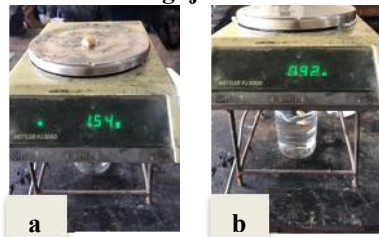


Gambar 8. Spesimen

- Kemudian tahap selanjutnya melakukan pengujian specimen.

4. Hasil dan Pembahasan

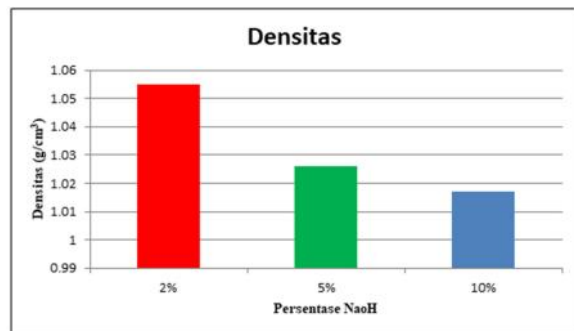
4.1. Data Hasil Pengujian Densitas



Gambar 9. a. Massa spesimen kering, b. Massa spesimen digantung dengan kawat di dalam air

Tabel 1. Data uji densitas

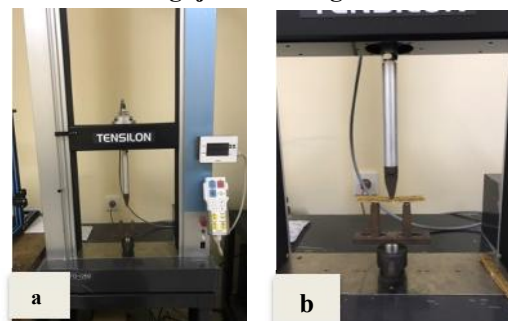
Variasi	Sampel	mk (gr)	ms (gr)	mg (gr)	mb (gr)	ρ (g/cm ³)	Rata-rata (g/cm ³)
Persentase NaOH 2%	1	0,84	1,54	0,92	1,55	1,044	1,055
	2	0,84	1,66	0,97	1,68	1,067	
	3	0,84	1,59	0,94	1,6	1,056	
Persentase NaOH 5%	1	0,84	1,93	0,93	1,95	1,034	1,026
	2	0,84	1,69	0,91	1,72	1,021	
	3	0,84	1,8	0,92	1,83	1,026	
Persentase NaOH 10%	1	0,84	1,62	0,9	1,64	1,022	1,017
	2	0,84	1,7	0,91	1,74	1,014	
	3	0,84	1,58	0,88	1,59	1,016	



Gambar 10. Grafik uji densitas

Berdasarkan grafik uji densitas (gambar 10) terlihat bahwa biokomposit yang memiliki nilai densitas paling tinggi terdapat pada biokomposit dengan variasi persentase NaOH 2% yaitu sebesar 1,055 g/cm³. Pada spesimen biokomposit dengan variasi persentase NaOH 5% yaitu sebesar 1,026 g/cm³. Sedangkan nilai densitas terendah terdapat pada spesimen biokomposit dengan variasi persentase NaOH 10% yaitu sebesar 1,017 g/cm³. Semakin banyak persentase NaOH yang ditambahkan kedalam perendaman maka akan mengikis wax, selulosa dan lignin dari serat yang menyebabkan serat menjadi menipis rapuh serta akan meningkatkan porositas pada spesimen.

4.2. Data Hasil Pengujian Bending



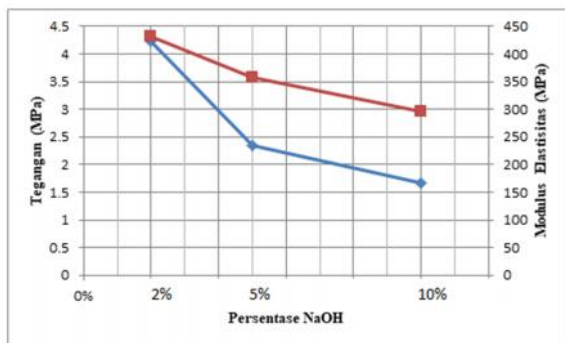
Gambar 11. a. Alat uji mekanik tensilon RTG 1250, b. proses pengujian bending

Hasil dari proses pengujian yang dilakukan yaitu dalam bentuk excel yang berisi data Beban (*load*) dan Elongasi (*elongation*) dari masing masing spesimen. Data yang diperoleh tersebut juga kita

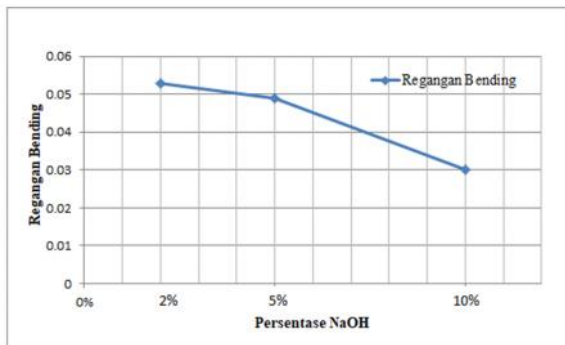
hitung menggunakan rumus persamaan (2), (3), dan (4).

Tabel 2. Data uji bending

Spesimen	Pengujian bending			
		σ_L (MPa)	ϵ_L	E_L (MPa)
Persentase NaOH 2%	a	3,983	0,052	465,010
	b	5,010	0,078	404,804
	c	3,718	0,029	428,314
Rata-rata		4,237	0,053	432,709
Persentase NaOH 5%	a	2,378	0,087	285,683
	b	1,935	0,023	388,229
	c	2,316	0,039	399,362
Rata-rata		2,343	0,049	357,758
Persentase NaOH 10%	a	1,013	0,028	200,785
	b	2,35	0,035	374,639
	c	1,617	0,028	315,210
Rata-rata		1,66	0,03	296,878



Gambar 12. Grafik Tegangan Bending dan Modulus Elastisitas



Gambar 13. Grafik Regangan Bending

Berdasarkan grafik tegangan bending (gambar 12) terlihat bahwa biokomposit yang memiliki nilai tegangan bending paling tinggi terdapat pada biokomposit dengan variasi persentase NaOH 2% yaitu sebesar 4,237 MPa. Ini disebabkan karena pada biokomposit dengan variasi persentase NaOH 2% dapat membersihkan lapisan lilin yang terdapat pada serat sehingga pada saat pencampuran dengan getah pinus terjadi ikatan yang homogen antara serat dan getah pinus. Pada spesimen dengan variasi persentase NaOH 5% dapat menerima beban sebesar 2,343 MPa. Pada perendaman ini menunjukkan penurunan

kekuatan spesimen disebabkan karena serat yang direndam NaOH 5% menyebabkan kerusakan pada unsur selulosa sehingga serat menjadi rapuh dan mudah putus. Pada spesimen dengan variasi persentase 10% dapat menerima beban sebesar 1,66 MPa. Perendaman serat dengan NaOH 10% menyebabkan kerusakan pada unsur selulosa sehingga serat menjadi rapuh, mudah putus dan meningkatkan porositas. Meningkatnya porositas itu sendiri dikarenakan adanya *void* dan biokomposit mulai bersifat *brittle*.

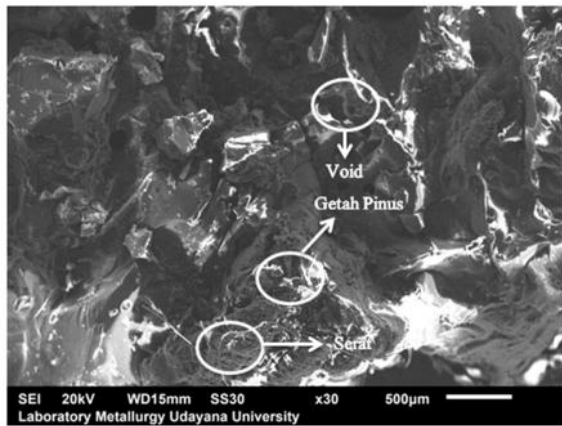
Pada grafik modulus elastisitas (gambar 12) dapat dilihat hubungan antara variasi persentase NaOH pada biokomposit serat pelepah pisang resin getah pinus terhadap nilai modulus elastisitas dimana paling tinggi diperoleh pada spesimen yang variasi persentase NaOH 2% yaitu sebesar 432,709 MPa. Pada spesimen biokomposit dengan variasi persentase NaOH 5% memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 357,758 MPa. Sedangkan nilai modulus elastisitas paling rendah terdapat pada biokomposit dengan variasi persentase NaOH 10% yaitu sebesar 296,878 MPa.

Pada grafik regangan bending (gambar 13) dapat dilihat hubungan antara variasi persentase NaOH pada biokomposit serat pelepah pisang resin getah pinus terhadap regangan bending dimana hasil nilai regangan bending paling tinggi diperoleh pada spesimen yang variasi persentase NaOH 2% yaitu senilai 0,053. Pada spesimen biokomposit dengan variasi persentase NaOH 5% memiliki nilai regangan bending sebesar 0,049. Sedangkan nilai regangan bending paling rendah terdapat pada biokomposit dengan variasi persentase NaOH 10% yaitu sebesar 0,03.

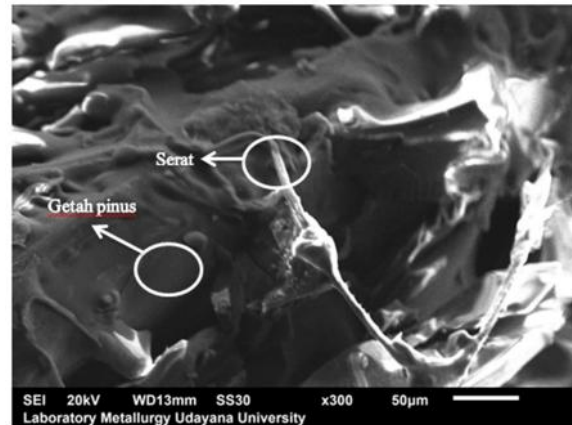
4.3. Foto Hasil Uji SEM

Gambar diatas menunjukkan hasil uji *SEM* (*Scanning Elcetron Microscope*) pada masing-masing variasi perendaman NaOH dimana:

1. Pada biokomposit dengan variasi perendaman NaOH 2% yang ditunjukkan Gambar 14. Dapat dilihat bahwa getah pinus berikatan secara optimal karena lapisan lignin yang ada pada permukaan serat sudah bersih dan getah pinus mulai mengisi *void* pada serat pelepah pisang.
2. Gambar 15 dan 16 menunjukkan hasil uji *SEM* (*Scanning Electron Microscope*) pada biokomposit dengan variasi perendaman NaOH 5% dan 10% menunjukkan kerusakan pada spesimen seperti *void*. Disebabkan karena unsur selulosa pada serat yang ikut terkikis saat perendaman dengan NaOH jadi serat dan getah pinus kurang mengikat dengan baik.

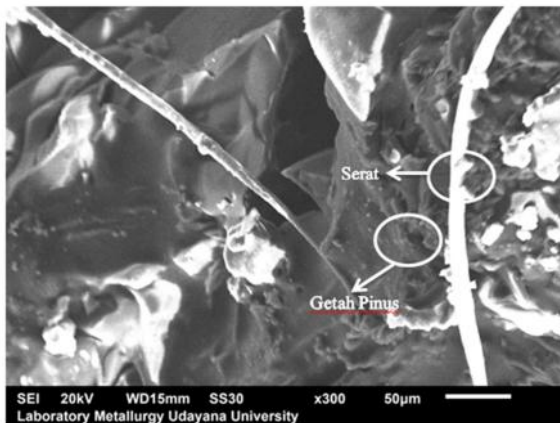


(a)



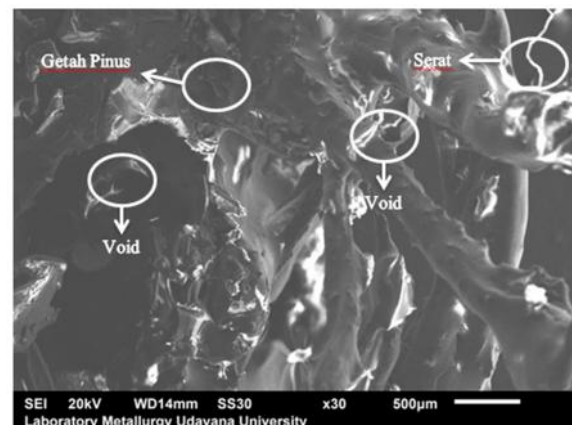
(b)

Gambar 15. Hasil Uji SEM Biokomposit Dengan Perendaman Aquades dan NaoH sebesar 95% : 5% (a) Perbesaran 30x ; (b) Perbesaran 300x

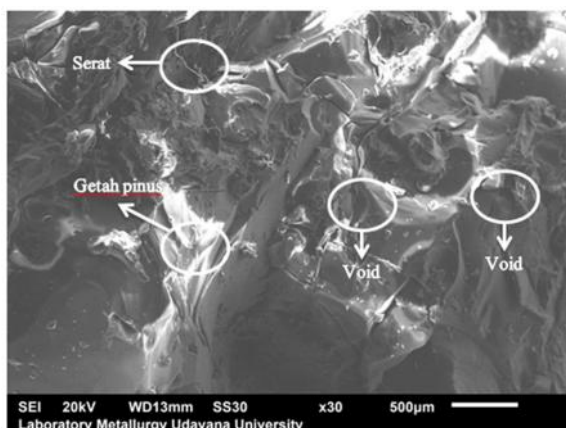


(b)

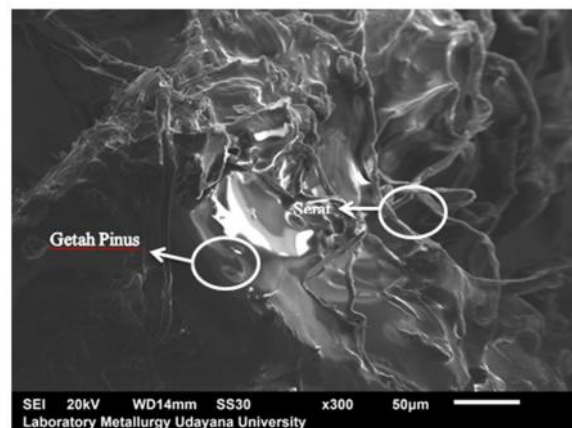
Gambar 14. Hasil Uji SEM Biokomposit Dengan Perendaman Aquades dan NaoH sebesar 98% : 2% (a) Perbesaran 30x ; (b) Perbesaran 300x



(a)



(a)



(b)

Gambar 16. Hasil Uji SEM Biokomposit Dengan Perendaman Aquades dan NaoH sebesar 90% : 10% (a) Perbesaran 30x ; (b) Perbesaran 300x

5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, ada beberapa hal yang dapat disimpulkan yaitu:

1. Hasil dari pengujian densitas menunjukkan bahwa biokomposit dengan variasi persentase NaOH 2% memiliki nilai densitas sebesar $1,055 \text{ g/cm}^3$.
2. Hasil dari pengujian bending menunjukkan bahwa biokomposit dengan variasi persentase NaOH 2% memiliki nilai tegangan bending sebesar sebesar 4,237 MPa, nilai regangan bending sebesar 0,053, dan nilai modulus elastisitas sebesar 62,77 MPa.
3. Foto hasil uji SEM (*Scanning Electron Microscope*) menunjukkan bahwa morfologi permukaan dengan perlakuan NaOH dapat membersihkan lapisan lignin yang ada pada serat. Namun semakin banyaknya NaOH dalam perlakuan menyebabkan unsur selulosa pada serat yang ikut terkikis sehingga serat menjadi rapuh.

Daftar Pustaka

- [1] Edi Syafri, Anwar Kasim, Hairul Abral, Alfi Asben, 2015, *Pengaruh Chemical Treatment Terhadap Sifat Fisik, Kandungan Selulosa dan Kekuatan Tarik Serat Alam Rami*. Universitas Andalas, Padang.
- [2] Susila I Made, 2018, *Pengaruh Komposisi Limbah Plastik Jenis Low Density Polyethylene (LDPE) dengan Pasir Terhadap Kekuatan Tekan dan Density Komposit Pasir/LDPE*, Universitas Udayana, Jimbaran.
- [3] Saris I Putu, 2018, *Pengaruh Variasi Ketebalan Green Komposit Getah Pinus Dengan Penguat Serat Batang Pisang Terhadap Serapan Bunyi*, Universitas Udayana, Jimbaran.
- [4] Kencanawati CIPK., IKG. Sugita, NPG. Suardana, IWB. Suyasa, 2017, *Karakteristik dan Analisis Awal Getah Pinus Merkussi (Pine Resin) dengan Variasi Suhu Pemanasan sebagai Alternatif Resin pada Komposit*, Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XVI (SNTTM XVI).



Kadek Yudi Pradnyana Putra menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana pada Program Studi Teknik Mesin, pada tahun 2020. Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan komposit dan metallurgy.

Karakteristik Fisik Dan Mekanik Panel Biokomposit Serat Pelepah Pisang Resin Getah Pinus Variasi Waktu Perendaman Serat Dengan NaOH

Putu Deta Yoga Pramana, I Wayan Surata dan Cok Istri Kusuma Kencanawati
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Penelitian ini berupaya untuk menciptakan suatu material panel biokomposit yang ramah lingkungan dengan memanfaatkan bahan yang berasal dari alam sehingga bahan ini mampu untuk mengurangi penggunaan bahan konvensional. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah serat pelepah pisang kepok (serat) pelepah pisang yang digunakan yaitu pelepah pisang nomor 1,2,3 dari luar batang pisang dan getah pinus (matriks) yang digunakan adalah getah pinus yang berasal dari KPH Bali timur. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik fisik dan mekanik biokomposit serat pelepah pisang resin getah pinus dengan memberi perlakuan perendaman serat selama (1 jam, 3 jam dan 5 jam) dengan dilakukan pengujian densitas (ASTM D792-08) dan pengujian kekuatan bending (ASTM D790). Hasil uji densitas biokomposit perendaman 1 jam memiliki nilai densitas paling tinggi yaitu sebesar 1,052 gr/cm³. Data hasil uji bending menunjukkan bahwa biokomposit dengan perendaman serat selama 5 jam memiliki kekuatan bending paling tinggi, yaitu dengan tegangan bending 2,522 Mpa, regangan bending 0.043, dan modulus elastisitas 176,056 Mpa. Pada uji SEM (Scanning Electron Microscope) dapat dilihat bahwa dengan memberikan perlakuan waktu perendaman dengan NaOH serat menjadi bersih dari kotoran dan lapisan lignin yang terdapat pada serat.

Kata kunci: Biokomposit, serat pelepah pisang, getah pinus, NaOH

Abstract

This research seeks to create an environmentally friendly biocomposite panel material by utilizing materials derived from nature so that this material is able to reduce the use of conventional materials. The material used in this research is Kepok banana fiber (fiber) banana fronds used are banana fronds number 1.2.3 from the outside of banana stems and pine resin (matrix) used is pine resin derived from the KPH of East Bali. This study aims to determine the physical and mechanical characteristics of biocomposite banana pine resin fiber by giving fiber immersion treatment for (1 hour, 3 hours and 5 hours) by testing the density (ASTM D792-08) and bending strength testing (ASTM D790). The 1 hour immersion biocomposite density test results have the highest density value which is 1,052 gr / cm³. The bending test data showed that biocomposite with fiber immersion for 5 hours had the highest bending strength, namely with a bending stress of 2.522 MPa, a bending strain of 0.043, and an elastic modulus of 176,056 MPa. In the SEM test (Scanning Electron Microscope) it can be seen that by giving a time immersion treatment with NaOH the fiber becomes clean of impurities and lignin layers contained in the fiber.

Keywords: Biocomposite, banana fiber, pine resin, NaOH

1. Pendahuluan

Pada era ini semakin banyak penggunaan plastik dalam kehidupan sehari-hari padahal Indonesia memiliki hasil alam yang melimpah yang bisa digunakan sebagai bahan pengganti plastik. Seperti pelepah pohon pisang dan getah pinus. Penggabungan antara serat pelepah pisang dengan getah pinus ini diharapkan mampu mendapatkan sumber material biokomposit yang ekonomis.

Biokomposit ini menggunakan serat pelepah pisang kepok (*Musa sp*) dengan getah pinus (*Merkusii jungh, Et de Vries*) ini akan dikembangkan sebagai bahan dasar panel yang nantinya akan diaplikasikan sebagai bahan *furniture*.

Pada penelitian ini serat pelepah pisang diberi perlakuan waktu perendaman serat selama 1 jam, 3 jam dan 5 jam dengan 10% NaOH 90% Aquades.

Dalam penelitian ini ada beberapa rumusan masalah yang akan di kaji:

1. Bagaimana densitas biokomposit serat pelepah pisang resin getah pinus dengan variasi waktu perendaman serat.
 2. Bagaimana kekuatan *Bending* Biokomposit serat pelepah pisang resin getah pinus dengan variasi waktu perendaman.
 3. Bagaimana Morfologi permukaan biokomposit dengan variasi waktu perendaman serat.
- Adapun beberapa batasan masalah yang membatasi penelitian ini antara lain:
1. Pada penelitian ini, penulis menggunakan serat pelepah pisang kepok (*Musa sp*) yang tumbuh di Kecamatan Kediri, Tabanan
 2. Getah pinus yang digunakan yaitu Pinus *Merkusii jungh. Et de Vries* yang berada di KPH Bali Timur
 3. Percobaan penelitian ini menggunakan variasi waktu perendaman serat selama 1 jam, 3 jam dan 5 jam.

2. Dasar Teori

2.1 Panel Biokomposit

Panel biokomposit merupakan salah satu komposit hasil penggabungan antara dua jenis material dari alam yang dimana salah satu material bersifat sebagai fiber dan yang satunya bersifat sebagai matriks.

2.2 Variasi waktu perendaman serat dengan NaOH

Perlakuan perendaman serat yang diberikan ini bertujuan untuk menghilangkan kotoran yang terdapat pada serat pelepah pisang supaya matriks mampu mengikat serat secara sempurna.

2.3 Uji Densitas

Pengujian densitas selain untuk mengetahui massa jenis suatu biokomposit juga bisa untuk mengetahui suatu kerapatan daripada biokomposit itu sendiri dimana pengujian densitas ini dilakukan dengan prinsip piknometer.

2.4 Uji Bending

Pengujian bending dilakukan untuk mengetahui tegangan maksimum yang mampu ditahan oleh spesimen pada saat menerima pembebanan. Sehingga akan di dapat hasil tegangan bending, regangan bending dan modulus elastisitas. Spesimen uji *bending* dibuat dengan standar ASTM D790 – 03.

2.5 SEM (Scanning Electron Microscope)

Pengujian *SEM* (*Scanning Electron Microscope*) dilakukan untuk mengetahui bagaimana morfologi permukaan biokomposit. spesimen yang diuji *SEM* (*Scanning Electron Microscope*) yaitu pada bagian yang patah pada saat uji bending.

3. Metode Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan alat dan bahan sebagai berikut:

3.1 Alat Penelitian

1. Alat uji: Alat Uji *Bending* dengan menggunakan ASTM D790-03, Uji *Densitas* dengan ASTM D792-08, dan Uji *SEM*
2. Alat cetak: Menggunakan cetakan kayu dengan ukuran yang sesuai dengan ASTM kemudian dilapisi *aluminium foil*.
3. Alat ukur: *Thermometer*, *Stopwatch*, Timbangan Digital
4. Alat K3: Masker, Sarung Tangan Karet
5. Alatbantu: *Magnetic Heated Stirrer*, Sumpit Pengaduk, *Aluminium Foil*, Gunting, *Cutter*, Wadah.
6. Alat pembersih: LapTangan, Minyak Goreng, Kuas.

3.2 Bahan Penelitian

Pada penelitian ini adapun beberapa bahan yang digunakan yaitu serat pelepah pisang sebagai fiber, getah pinus sebagai resin, NaOH dan Aquades.

3.3 Massa Jenis Bahan

Pada penelitian ini massa jenis bahan sudah diketahui dari penelitian sebelumnya. [Massa jenis getah pinus sebesar $1,1 \text{ gr/cm}^3$ [1]. Sedangkan massa jenis serat pelepah pisang sebesar $0,777 \text{ gr/cm}^3$ [2].

3.4 Fraksi Volume

Dari penelitian [3] menyatakan bahwa semakin banyak volume serat kekuatan bending semakin bagus apabila serat tidak mengalami perlakuan NaOH. Sedangkan pada penelitian ini menggunakan perbandingan fraksi volume sebesar 10% Serat dan 90% Getah Pinus karena serat mengalami perlakuan NaOH.

3.5 Variasi Waktu Perendaman Serat

Hasil dari pengujian serat tunggal dengan variasi waktu perendaman dapat merubah kekuatan dari serat itu sendiri [4]. Pada penelitian [5] dengan melakukan perendaman serat dengan NaOH mampu membuat kekuatan serat meningkat tergantung dari waktu perendaman yang diberikan. Sehingga pada penelitian ini penulis menggunakan Variasi waktu perendaman serat selama 1 jam, 3 jam dan 5 jam dengan 10% NaOH.

3.6 Proses pembuatan Biokomposit

3.6.1 Proses Perlakuan Serat Pelepah Pisang

Adapun beberapa langkah pembuatan biokomposit ini yaitu:

1. Pelepah pisang yang digunakan yaitu no 1,2,3 dari luar
2. Pelepah pisang kemudian disisir untuk mendapatkan seratnya
3. Setelah serat terkumpul lalu serat direndam dengan larutan NaOH dan Aquades selama 1 jam, 3 jam dan 5 jam.



Gambar 1. Proses Perendaman Serat

4. Setelah proses perendaman selesai serat dibilas bersih dengan air.
5. Lalu lakukan proses oven serat selama 4-5 jam.
6. Setelah serat kering baru potong serat sepanjang 5 mm.



Gambar 2. Proses Pemoangan Serat

3.7.2 Proses Pemanasan Getah Pinus

Pemanasan getah pinus menggunakan *magnetic stirrer* sampai suhu getah pinus mencapai 170° dengan kecepatan 600 Rpm. Setelah getah pinus

mencapai suhu 170⁰ maka berikan *holding time* sebelum getah pinus dicampur dengan serat

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Uji Densitas

Uji densitas ini dilakukan untuk mengetahui kerapatan daripada spesimen biokomposit dengan cara spesimen digantung menggunakan kawat lalu akan direndam dalam air.



Gambar 3. Pengujian Densitas

Perhitungan densitas dengan waktu perendaman serat selama 1 jam didapat data sebagai berikut :

Rumus untuk mencari densitas sampel

$$\rho = \frac{ms}{mb - (mg - mk)} \times \rho_{H2O}$$

$$\rho = \frac{1,73}{1,76 - (0,95 - 0,84)} \times 0,997$$

$$\rho = \frac{1,73}{1,76 - 0,11} \times 0,997$$

$$\rho = \frac{1,73}{1,63} \times 0,997$$

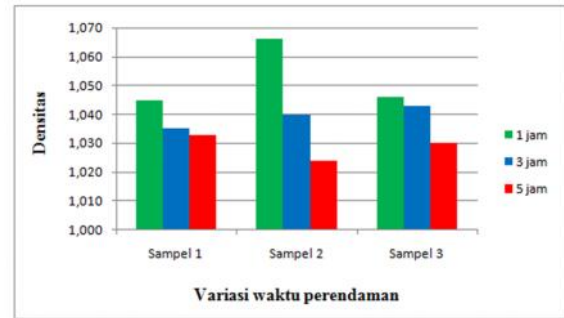
$$\rho = 1,045 \text{ gr/cm}^3$$

Massa sampel kering (ms)	= 1,73 gr
Massa kawat (mk)	= 0,84 gr
Massa sampel digantung dengan kawat didalam air (mg)	= 0,95 gr
Massa sampel basah (mb)	= 1,76 gr
Massa jenis Aquades (ρ _{H2O})	= 0,997 gr
Densitas sampel (ρ)	= 1,045 gr

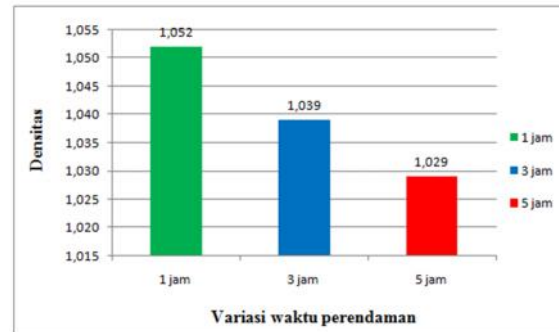
Dari perhitungan ke 9 sampel dari 3 variasi waktu perendaman didapatkan data densitas seperti tabel:

Tabel 1 Hasil Uji Densitas Persampel

Variasi	Sampel	mk (gr)	ms (gr)	mg (gr)	mb (gr)	ρ (gram/cm ³)	Rata-rata
1 jam	Sampel 1	0,84	1,73	0,95	1,76	1,045	1,052
	Sampel 2	0,84	1,79	0,98	1,80	1,066	
	Sampel 3	0,84	1,75	0,96	1,74	1,046	
3 jam	Sampel 1	0,84	1,86	0,94	1,89	1,035	1,039
	Sampel 2	0,84	1,83	0,97	1,88	1,040	
	Sampel 3	0,84	1,82	0,96	1,86	1,043	
5 jam	Sampel 1	0,84	1,65	0,90	1,68	1,033	1,029
	Sampel 2	0,84	1,67	0,91	1,70	1,024	
	Sampel 3	0,84	1,69	0,94	1,72	1,030	



Gambar 4. Nilai densitas persampel

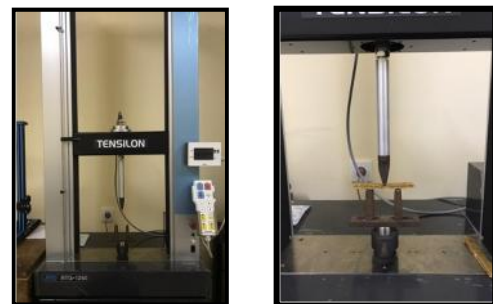


Gambar 5. Nilai densitas rata-rata spesimen

Hasil pengujian densitas dengan variasi waktu perendaman serat dengan NaOH dengan fraksi Volume 10% serat dan 90% getah pinus mendapatkan hasil dimana pada sampel biokomposit 1 jam memiliki kerapatan yang paling tinggi yaitu sebesar 1,052 gr/cm³. pada sampel biokomposit 3 jam memiliki densitas sebesar 1,039 gr/cm³ dan sampel biokomposit 5 jam memiliki nilai densitas sebesar 1,029 gr/cm³. Semakin lama waktu perendaman serat yang diberikan pada serat maka nilai densitas biokomposit semakin menurun, hal ini disebabkan karena perlakuan NaOH pada serat pelepah pisang mampu menghilangkan kotoran yang selama ini menempel pada serat pelepah pisang

4.2 Uji Bending

Pengujian bending dilakukan untuk mengetahui kekuatan dari spesimen biokomposit menahan pembebanan yang diberikan secara perlahan-lahan.



Gambar 6. Pengujian Bending

Hasil dari pengujian bending yang dilakukan didapat hasil sebagai berikut:

a. Tegangan Bending

Diketahui:

- P = 21,732 N
- L = 40 mm
- b = 15 mm
- d = 7 mm

Ditanya:

σ_L = Tegangan bending (MPa)

Dimana:

- σ_L = Tegangan bending (MPa)
- P = Beban (N)
- L = Panjang Span (mm)
- b = Lebar benda uji (mm)
- d = Tebal benda uji (mm)

$$\sigma_L = \frac{3PL}{2b \cdot d^3}$$

$$= \frac{3 \cdot 21,732 \cdot 40}{2 \cdot 15 \cdot 7^3}$$

$$= \frac{2607,840 \text{ N}}{1,470 \text{ mm}}$$

$$= 1,774 \text{ Mpa}$$

b. Regangan Bending

Diketahui:

- δ = 6,5156 mm
- L = 40 mm
- d = 7 mm

Ditanya:

ϵ_L = Regangan Bending (mm/mm)

Dimana:

- ϵ_L = Regangan Bending (mm/mm)
- δ = Defleksi Benda Uji (mm)
- L = Panjang Span (mm)
- d = Tebal benda Uji

Jawab:

$$\epsilon_L = \frac{6 \cdot \delta \cdot d}{L^2}$$

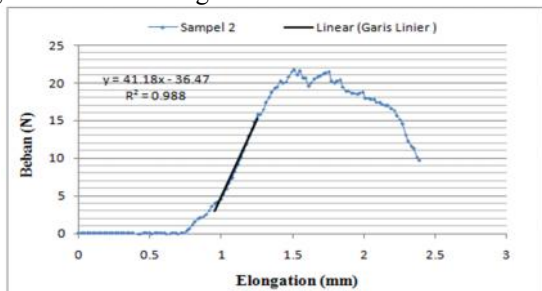
$$= \frac{6 \cdot 6,5156 \cdot 7}{1600}$$

$$= \frac{63,6552}{1600}$$

$$= 0,039$$

c. Modulus elastisitas

Pada perhitungan modulus elastisitas kita perlu mengetahui tangen garis lurus pada daerah elastis pada spesimen dengan cara menarik garis linier pada grafik beban x elongasi.



Gambar 7. Grafik tangen garis lurus

Diketahui:

- L = 40 mm
- b = 15 mm
- d = 7 mm
- m = 41.18 N/mm

Ditanya:

E_L = Modulus Elastisitas Bending (MPa)

Dimana:

- E_L = Modulus Elastisitas Bending (MPa)
- L = Support Span (mm)
- b = Lebar benda uji (mm)
- d = Tebal benda uji (mm)
- m = Tangen garis lurus pada Load Deflection Curve (N/mm)

Jawab:

$$E_L = \frac{L^3 \cdot m}{4b \cdot d^3}$$

$$= \frac{40^3 \cdot 41,18}{4 \cdot 15 \cdot 7^3}$$

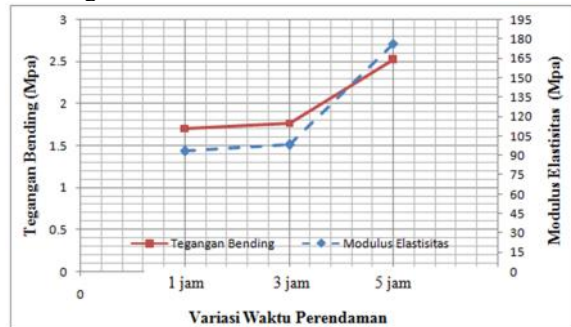
$$= 128,062 \text{ Mpa}$$

Dari hasil perhitungan bending didapat data sebagai berikut:

Tabel 2 Hasil Uji Bending

Spesimen	Pengujian Bending			
	σ_L (Mpa)	ϵ_L	E_L (Mpa)	
Variasi waktu perendaman serat 1 jam	1	1,774	0,039	128,062
	2	1,180	0,059	55,572
	3	2,172	0,052	182,452
Rata-rata	1,708	0,050	122,028	
Variasi waktu perendaman serat 3 jam	1	2,433	0,044	139,071
	2	1,666	0,049	183,791
	3	1,211	0,064	47,238
Rata-rata	1,770	0,052	123,370	
Variasi waktu perendaman serat 5 jam	1	2,247	0,045	264,427
	2	2,816	0,045	283,148
	3	2,504	0,041	225,679
Rata-rata	2,522	0,043	257,751	

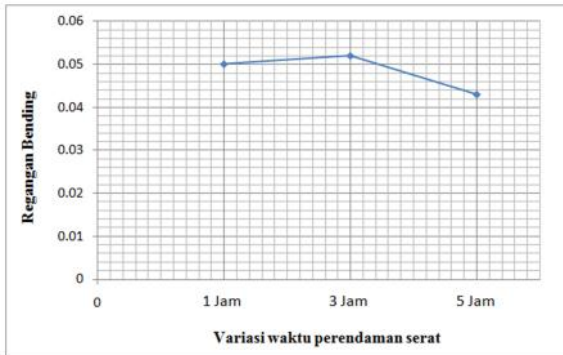
Variasi waktu perendaman serat dengan NaOH dapat mempengaruhi hasil dari tegangan bending, regangan bending dan modulus elastisitas bending yang diperoleh. Adapun hasil pengujian yang didapat dari variasi waktu perendaman serat dengan NaOH yaitu sebagai berikut:



Gambar 8. Grafik hubungan Tegangan dan Modulus elastisitas

Berdasarkan grafik tegangan bending pada (gambar 4.4) diatas dapat dilihat bahwa biokomposit perendaman 1 jam memiliki kekuatan bending sebesar 1,708 Mpa, pada perendaman selama 3 jam biokomposit memiliki kekuatan bending sebesar 1,770 Mpa. Pada perendaman 5 jam biokomposit memiliki kekuatan bending yang paling tinggi sebesar 2,522 Mpa. Peningkatan kekuatan bending ini dipengaruhi oleh waktu perendaman serat yang diberikan dimana semakin lama waktu perendaman yang diberikan maka kekuatan bending akan meningkat, akan tetapi bisa saja pada perendaman serat yang melebihi 5 jam kekuatan bending biokomposit akan menurun. Pada grafik tegangan bending dan modulus elastisitas (gambar 4.4) dapat dilihat bahwa peningkatan nilai modulus elastisitas biokomposit terjadi ketika perendaman serat semakin lama, peningkatan nilai ini dikarenakan serat dan matriks saling mengikat dengan sangat baik. Dimana

perendaman serat selama 5 jam memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 257,751 Mpa. Spesimen biokomposit perendaman seratselama 3 jam memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 123,370 Mpa. Pada spesimen biokomposit perendaman serat selama 1 jam nilai modulus elastisitas sebesar 122,028 Mpa.



Gambar 9. Regangan Bending

Pada grafik regangan *bending* (gambar 4.5) dapat dilihat hubungan antara nilai regangan *bending* biokomposit serat pelepah pisang resin getah pinus dengan variasi waktu perendaman serat. Dimana nilai regangan *bending* pada biokomposit perendaman 1 jam memiliki regangan bending sebesar 0,050, perendaman 3 jam memiliki nilai regangan *bending* sebesar 0,052, perendaman 5 jam nilai regangan bending sedikit menurun menjadi 0,043. Penurunan regangan *bending* ini dipengaruhi oleh waktu perendaman serat sehingga regangan optimum dicapai pada biokomposit dengan perendaman 3 jam. Setelah perendaman melewati 3 jam nilai regangan biokomposit menurun hal ini dikarenakan biokomposit sudah bersifat getas.

4.3 Uji SEM (*Scanning Electron Microscope*)

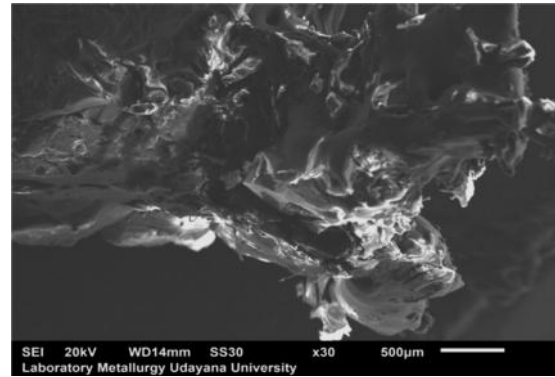
Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana morfologi permukaan biokomposit.



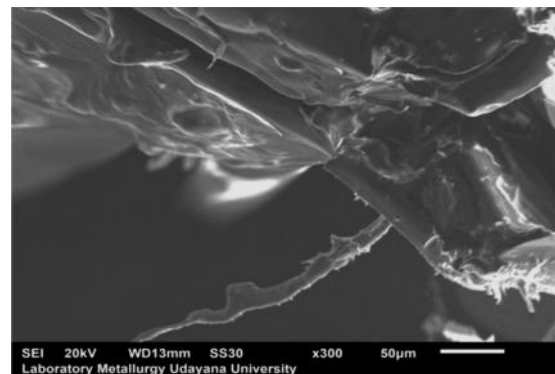
Gambar 10. Alat uji SEM

Setelah dilakukannya uji sem dengan perbesaran 30x dan 300x didapat morfologi permukaan biokomposit seperti berikut ini:

Perendaman serat 1 jam

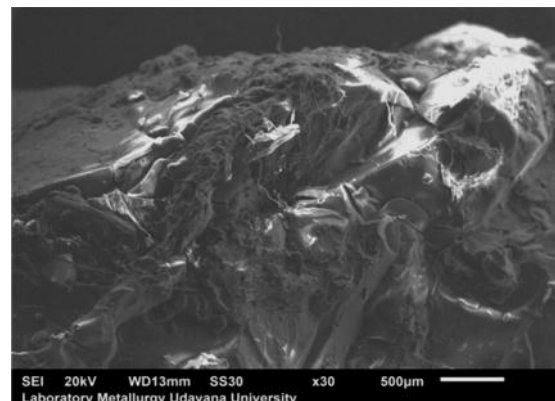


Gambar 11. Hasil uji SEM pembesaran 30x

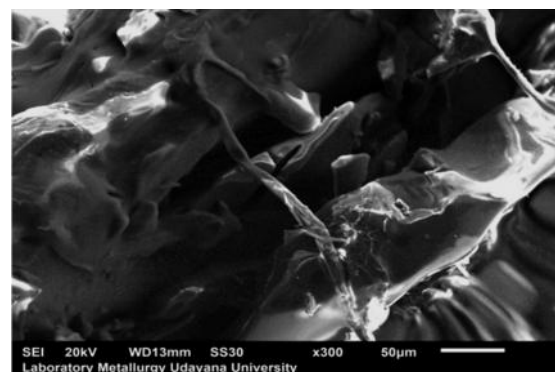


Gambar 12. Hasil uji SEM pembesaran 300x

Perendaman serat 3 jam

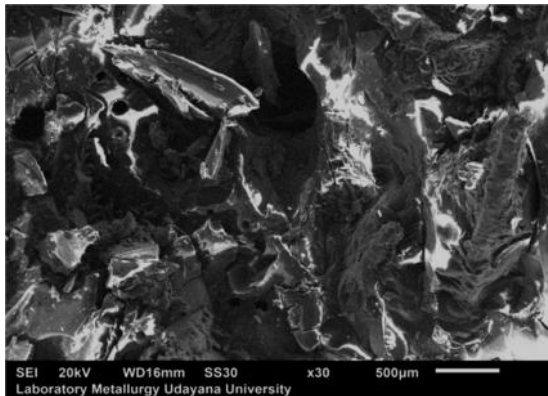


Gambar 13. Hasil uji SEM pembesaran 30x

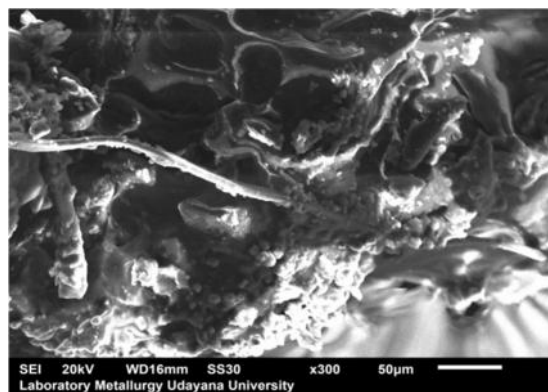


Gambar 14. Hasil uji SEM pembesaran 300x

Perendaman serat 5 jam



Gambar 15. Hasil uji SEM pembesaran 30x



Gambar 16. Hasil uji SEM pembesaran 300x

1. Pada (Gambar 11 pembesaran 30x) dimana biokomposit perendaman 1 jam menunjukkan bahwa serat belum berikatan baik dengan matriks. Pada (Gambar 12 pembesaran 300x) dapat dilihat bahwa serat hanya menempel sehingga tidak adanya ikatan antara serat dan matriks hal ini menyebabkan kekuatan bending biokomposit rendah karena serat dan matriks tidak berikatan.
2. Pada perendaman 3 jam menunjukkan bahwa serat dan matriks pada biokomposit sudah mulai berikatan walau belum sempurna hal ini dikarenakan masih terisanya lapisan lignin pada serat dilihat pada (Gambar 13 pembesaran 30x). Pada (Gambar 14 pembesaran 300x) dapat dilihat ikatan yang sudah mulai terjadi antara serat dan matriks.
3. Pada (Gambar 15 pembesaran 30x) perendaman 5 jam adanya sedikit void akibat dari mengecilnya diameter serat karena perendaman yang dilakukan. Pada (Gambar 16 pembesaran 300x) dapat dilihat bahwa serat dan matriks sudah berikatan sepenuhnya, sehingga memiliki kekuatan bending paling tinggi.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan mengenai pengaruh waktu perendaman serat dengan NaOH terhadap biokomposit serat pelepah pisang

resin getah pinus (*pinus merkusii*) maka penulis dapat menyimpulkan bahwa:

1. Dari hasil yang diperoleh dimana dengan melakukan perlakuan perendaman serat pelepah pisang, semakin lama waktu perendaman serat maka kekuatan *bending* biokomposit akan meningkat seperti pada biokomposit dengan waktu perendaman selama 5 jam memiliki kekuatan bending paling tinggi sebesar 2,522 Mpa. Sedangkan kekuatan bending terkecil didapat dari biokomposit dengan waktu perendaman serat selama 1 jam yaitu sebesar 1,708 Mpa.
2. Semakin lama waktu perendaman serat yang dilakukan memiliki pengaruh terhadap nilai densitas dari biokomposit akan menurun, seperti pada biokomposit dengan waktu perendaman selama 1 jam memiliki nilai densitas paling tinggi sebesar 1,052 gr/cm³. Sedangkan nilai densitas terkecil didapat dari biokomposit dengan waktu perendaman serat selama 5 jam sebesar 1,029 gr/cm³
3. Berdasarkan hasil uji SEM (*Scanning Electron Microscope*) perlakuan waktu perendaman terhadap serat dengan NaOH dapat membersihkan lapisan lignin dan kotoran pada serat, tapi semakin lama waktu perendaman yang diberikan akan membuat serat rusak sehingga akan menimbulkan banyak void pada biokomposit.

Daftar pustaka

- [1] CIPK Kencanawati, I Ketut Gede Sugita, NPG Suardana dan I Wayan Budiasa Suyasa. (2017), *Karakteristik dan Analisis Awal Getah Pinus Merkusii (Pine Resin) dengan variasi Suhu Pemanasan sebagai Alternatif Resin pada Komposit*, Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana, Jurusan Kimia FMIPA Universitas Udayana.
- [2] Saris, I Putu. 2018, *Pengaruh Variasi Ketebalan Green Komposit Getah Pinus dengan Penguat Serat Batang Pisang terhadap Serapan Bunyi*, Universitas Udayana.
- [3] Autor, 2018, *Analisis Pengaruh Penggunaan NaOH 5% pada Serat Pelepah Pisang dengan Fraksi Volume 40%, 50%, dan 60% terhadap Kekuatan Mekanis*, *Jurnal Teknik Mesin UNISK*, Vol. 3, No.2, pp. 46-57.
- [4] Pramono, Catur, Widodo, Sri, 2012, *Pengaruh Perlakuan Alkali Kadar 5% dengan Lama Perendaman 0 Jam, 2 Jam, 4 Jam, 6 Jam terhadap Sifat Tarik Serat Pelepah Pisang Kepok*, *Jurnal Penelitian Inovasi*, pp. 47-59.

- [5] Purkuncoro, Aladin Eko, 2017, *Pengaruh Perlakuan Alkali (NaOH) Serat Ijuk (ArengaPinata) terhadap Kekuatan Tarik, Transmisi*, Vol. 13, No. 2, pp. 167-178.

	<p>Putu Deta Yoga Pramana menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana pada Program Studi Teknik Mesin, pada tahun 2020.</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik polimer komposit.</p>	

Pemanfaatan Batang Tanaman Sorgum Dalam Pembuatan Bioetanol Sekaligus Sebagai Bahan Alternatif Pengganti Bahan Bakar Minyak (BBM)

I Made Suyana K., I Gusti Bagus Wijaya Kusuma dan A.A I A Sri Komaladewi
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Bahan bakar minyak bumi dan batu bara yang merupakan sumber energi fosil utama di Indonesia yang ketersediaannya sudah mulai berkurang namun kebutuhan terhadap sumber bahan bakar ini terus meningkat. Salah satu langkah alternatif yang bisa dilakukan yaitu dengan pemanfaatan biofuel. Etanol merupakan salah satu biofuel yang digunakan dalam penanganan kelangkaan ini yang didapat dari ekstrak tanaman bersiglelulosa. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui cara mengolah batang dari tanaman sorgum menjadi bioetanol dan sebagai bahan bakar fosil. Pada penelitian ini menggunakan variable bebas yaitu variasi perbandingan enzim dan variable terikat yaitu kadar alkohol dan laju fermentasi. Proses pengujian dalam penelitian ini meliputi proses fermentasi pada nira batang sorgum yang telah di ekstrak dan dilakukan variasi dengan mencampurkan enzim dengan nira batang sorgum sebagai berikut, 4,2 gram : 300ml, 8,4 gram : 300ml, dan 16,8 gram : 300ml dan tanpa menggunakan enzim yang kemudian di fermentasi selama 6 hari. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa variasi perbandingan enzim (ragi) dengan nira batang sorgum berpengaruh terhadap peningkatan kadar alcohol, dimana mendapatkan hasil yang paling maksimal yaitu sebesar 15% dengan campuran 8,4 gram : 300ml. Pada proses perhitungan menunjukkan hasil yang tidak signifikan karena laju fermentasi yang diperoleh dari setiap variasi perbandingan mengalami penurunan massa produk fermentasi setiap harinya. Hal ini disebabkan selama proses fermentasi berlangsung, kadar glukosa telah diubah sehingga massas pada zat tersebut terus berkurang dalam rentang waktu enam hari

Kata Kunci: Bioetanol, Nira Sorgum, Fermentasi

Abstract

Petroleum and coal fuels, which are the main sources of fossil energy in Indonesia, have begun to decrease as fuel demand continues to increase. One alternative step that can be done is to use biofuels. Ethanol is one of the biofuels used in the management of this scarcity which is obtained from the extract of polygelulose plants. This research studies how to process stems from sorghum plants into bioethanol and as a fossil fuel. In this study, the independent variable is variation of enzyme participation and the independent variable is alcohol content and fermentation rate. The testing process in this study discusses the fermentation process on sorghum sap which has been carried out in extracts and variations by mixing enzymes with sorghum sap as follows, 4.2 grams: 300ml, 8.4 grams: 300ml, and 16.8 grams: 300ml and without using enzymes which are then fermented for 6 days. The results showed variations in enzymes (yeast) with sorghum stem juice affect the increase in alcohol content, while getting the most maximum results of 15% with a mixture of 8.4 grams: 300ml. In the calculation process, it shows an insignificant result because it accelerates the fermentation obtained from each variation added to the reduction in the mass of the fermented product per result. This causes during the fermentation process, the glucose level has been changed so that the mass of the substance continues to increase within a span of six days

Keyword: Bioethanol, Sorghum, Fermentation.

1. Pendahuluan

Penggunaan bahan bakar fosil saat ini mengalami peningkatan yang sangat pesat seiring dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi. Meningkatnya kebutuhan bahan bakar fosil ini tidak diiringi dengan ketercukupan bahan baku yang tersedia [1]. Apabila penggunaan ini terus berlanjut akan berdampak buruk terhadap lingkungan sekitar seperti, emisi gas rumah kaca dan pemanasan global. Salah satu upaya yang dilakukan untuk mengganti bahan bakar fosil tersebut adalah melakukan inovasi dengan menggunakan *biofuel* sebagai bahan bakar alternatif. Salah satu *biofuel* yang sering dipakai yaitu bioethanol yang dapat diekstrak dari tanaman berselulosa. Pada penelitian ini, yang menjadi objek

penelitian adalah batang tanaman sorgum yang dimana ekstra dari batang sorgum mengandung glukosa yang dapat dijadikan *bioethanol*, melalui proses fermentasi dan destilasi. Dari proses fermentasi akan menghasilkan etanol yang mampu digunakan sebagai oksigenasi sehingga dapat menghasilkan oktan yang lebih tinggi dan menghasilkan emisi gas yang lebih sedikit. Proses fermentasi merupakan proses yang penting dalam pengolahan batang sorgum menjadi bioetanol, maka penelitian ini bertujuan untuk bagaimana mengolah batang sorgum menjadi bioetanol yang dapat menjadi inovasi pengganti bahan bakar minyak yang ramah lingkungan [2]. Dalam penelitian ini menggunakan beberapa batasan masalah yang meliputi:

1. Bioetanol yang dihasilkan dari nira batang sorgum dengan cara di pres.
2. Proses fermentasi dilakukan secara biologis dengan menempatkan nira perasan batang sorgum pada tempat tertutup tanpa oksigen selama beberapa hari (*anaerob*).
3. Variasi perbandingan enzim yang digunakan dalam proses fermentasi.

2. Dasar Teori

Dalam penelitian ini alcohol yang dihasilkan berbentuk etanol generasi kedua, yaitu didapatkan melalui proses fermentasi dari tumbuhan pangan yang tidak digunakan sebagai bahan pangan seperti batang tanaman sorgum [3]. Proses pembuatan *bioethanol* ini meliputi proses fermentasi, dimana menggunakan bantuan enzim (ragi) untuk membantu mempercepat merubah glukosa menjadi etanol yang bersifat anaerob (memerlukan oksigen) .

Pada penelitian ini juga membahas perhitungan nilai laju fermentasi yang dihitung dari perbandingan massa dengan waktu fermentasi [4]. Untuk perhitungan laju fermentasi, dapat dicari terlebih dahulu massa fermentasi dengan menggunakan persamaan massa jenis:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (1)$$

$$m = \rho \times v \quad (2)$$

dimana :

ρ = massa jenis (kg/liter)

m = massa benda (kg)

v = volume benda (liter)

Diketahui :

ρ Alkohol = 0,7 kg/liter

ρ Air = 0,97 kg/liter

Laju fermentasi ditentukan dengan persamaan di bawah ini :

$$m_b = \frac{\Delta m_b}{\Delta t} \quad (3)$$

dimana :

\dot{m}_b = Laju Fermentasi (kg/hari)

Δm_b = Massa Produk Fermentasi yang dihasilkan (kg)

Δt = Selang waktu fermentasi (hari)

3. Metode Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan batang sorgum sebagai objek penelitian, adapun beberapa alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu alat peras batang sorgum, ragi sebagai zat yang membantu dalam proses fermentasi, alcoholmeter sebagai alat pengukur kadar alcohol yang telah dihasilkan, toples sebagai wadah dari nira batang sorgum dan gelas ukur untuk membantu mengukur perbandingan takaran nira batang sorgum.

Langkah – langkah yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu :

1. Mencuci batang tanaman sorgum dengan air bersih lalu menekstrak batang tanaman sorgum untuk mendapatkan nira batang sorgum tersebut.
2. Melakukan proses fermentasi dengan mencampur enzim (ragi) dengan nira batang sorgum yang telah diekstrak dengan perbandingan enzim 4,2 gram, 8,4 gram, 16,8 gram yang dicampur dengan 300ml bang tanaman sorgum dan penggunaan tanpa enzim berbanding 300ml nira batang tanaman sorgum.
3. Setelah proses fermentasi berlangsung akan diukur peningkatan kadar alcohol di setiap perbandingan dan dihitung laju fermentasi hasil dari fermentasi pada setiap variasi perbandingan.

Adapun proses dalam penelitian ini meliputi berbagai proses, sebagai berikut:

1. Proses ini diawali dengan menggiling batang sorgum ini dilakukan dengan tujuan untuk mengambil nira yang terkandung dari batang sorgum tersebut. Setelah didapatkan nira batang sorgum tersebut akan dilanjutkan dengan proses fermentasi.



Gambar 1. Proses Pengambilan Nira Batang Tanaman Sorgum

2. Proses selanjutnya yaitu membagi percobaan menjadi 4 treatment yang telah disesuaikan dengan variasi enzim dengan nira batang sorgum yang telah ditentukan dan dimasukkan kedalam toples yang telah ditutup rapat untuk menghasilkan fermentasi yang optimal. Hal ini disebabkan karena proses fermentasi pada penelitian ini yaitu dengan anaerob. Proses fermentasi dilakukan selama enam hari guna mendapatkan hasil yang alcohol yang maksimal



Gambar 2 . Proses Fermentasi

3. Tahap selanjutnya yaitu mengukur kadar alcohol hasil fermentasi setiap harinya guna mengetahui pada varuian mana terdapat hasil alcohol terbaik yang dihasilkan pada proses fermentasi ini.



Gambar 3. Pengukuran Kadar Alcohol Dari Proses Fermentasi

4. Hasil dan Pembahasan

Dalam penelitian ini akan membahas tentang proses pembuatan etanol dengan nira batang sorgum sebagai objek penelitian yang selanjutnya akan dilakukan proses fermentasi dan dilakukan perbandingan terhadap 4 treatment yang mempunyai campuran enzim berbeda, dimana nantinya akan dihasilkan kadar alcohol yang paling optimal. Pada penelitian ini juga dilakukan perhitungan laju fermentasi alcohol yang dihasilkan.

4.1 Data Pengukuran Kadar Alcohol

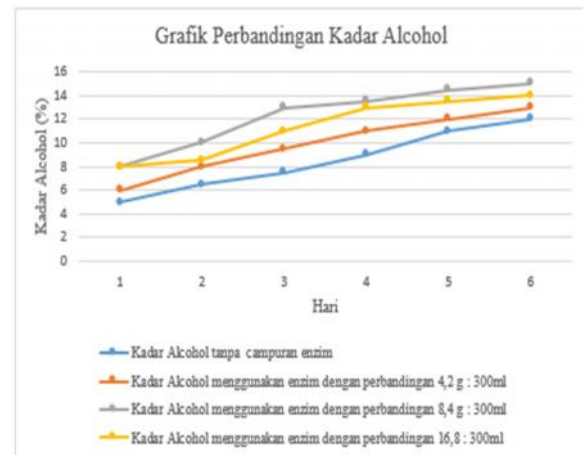
Dari hasil fermentasi yang telah dilakukan, didapatkan kadar alcohol yang telah diukur setiap harinya dan disajikan dalam bentuk table sebagai berikut:

Tabel 1. Data Pengukuran Kadar Alcohol Hasil Fermentasi

Hari Pembuatan	Kadar Alcohol Bioetanol tanpa menggunakan campuran enzim (%)	Kadar Alcohol Bioetanol menggunakan enzim dengan rasio 1 : 300ml	Kadar Alcohol Bioetanol menggunakan enzim dengan rasio 2 : 300ml	Kadar Alcohol Bioetanol menggunakan enzim dengan rasio 4 : 300ml
1	5	6	8	8
2	6,5	8	10	8,5
3	7,5	9,5	13	11
4	9	11	13,5	13
5	11	12	14,5	13,5
6	12	13	15	14

Dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan data berupa table hasil alcohol hasil fermentasi yang menunjukkan bahwa dari 4 treatment yang ada, perbandingan antara enzim dan nira batang sorgum yang memiliki kadar alcohol yang paling maksimal yaitu perbandingan 8,4 gram enzim : 300ml dengan kadar alcohol 15%, perbandingan ini menghasilkan kadar alcohol yang lebih tinggi dsri perncampuran enzim yang

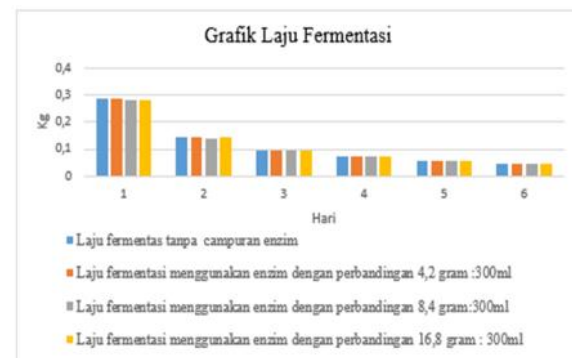
lebih banyak (16,8 gram enzim(ragi)) yang hanya mengasilkan 14% kadar alcohol. Hal ini sebabkan karena kandungan glukosa dari nira batang sorgum telah habis terfermentasi, sehingga enzim yang masih tersisa mengendap dan tidak dapat berkerja lagi dalam proses tersebut. Jadi dapat disimpulkan, pemberian enzim pada nira batang sorgum berpengaruh terhadap kadar alcohol yang dihasilkan.



Gambar 4. Grafik Hasil Pengukuran Kadar Alcohol

Tabel 2. Data Perhitungan Laju Fermentasi

Hari Pembuatan	Laju fermentasi kadar Alcohol tanpa menggunakan campuran enzim (kg/hari)	Laju fermentasi kadar Alcohol menggunakan enzim dengan rasio 1:300ml (kg/hari)	Laju fermentasi kadar Alcohol menggunakan enzim dengan rasio 2:300ml (kg/hari)	Laju fermentasi kadar Alcohol menggunakan enzim dengan rasio 4:300ml (kg/hari)
1	0,287	0,2861	0,2845	0,2845
2	0,1428	0,1422	0,1414	0,1420
3	0,095	0,0944	0,0943	0,0940
4	0,071	0,0702	0,07	0,0701
5	0,0564	0,0562	0,0558	0,0560
6	0,0468	0,0467	0,0464	0,0466



Gambar 5. Grafik Laju Fermentasi

Dari data perhitungan laju fermentasi menunjukkan bahwa setiap perbandingan variasi enzim hasil fermentasi nira batang tanaman sorgum tidak menunjukkan hasil yang signifikan, dapat dilihat dari massa produk yang semakin hari semakin menurun selama dilakukannya proses fermentasi. Hal ini sebabkan karena kandungan lakohol

pada nira sorgum telah habis terfermentasi menjadi etanol sehingga massa zat tersebut semakin berkurang setiap harinya. Jadi, dapat disimpulkan, variasi enzim tidak mempengaruhi laju fermentasi hasil fermentasi alkohol.

5. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pengolahan batang tanaman sorgum dapat dijadikan bahan alternative pengganti bahan bakar minyak dalam kehidupan sehari-hari. Pengolahan batang tanaman sorgum meliputi proses ekstrak batang sorgum menjadi nira sorgum yang selanjutnya dilakukan proses fermentasi dengan bantuan enzim (ragi) selama enam hari yang dibagi menjadi 4 treatment. Dari pengujian yang telah dilakukan didapatkan hasil bahwa dari 4 treatment yang ada, perbandingan 8,4 enzim : 300ml nira sorgum menghasilkan kadar alkohol yang paling optimal yaitu 15%, berbeda halnya dengan pencampuran enzim yang lebih besar yaitu 16,8 gram enzim berbanding 300ml nira batang sorgu yang hanya menghasilkan 14% kadar alkohol. Hal ini disebabkan oleh kandungan glukosa yang telah habis terfermentasi sehingga menyebabkan proses fermentasi terhenti dan kansungan enzim mengendap. Dari proses ini, kadar alkohol yang dihasilkan tidak bergantung pada banyaknya enzim yang diberikan. Selanjutnya, pada proses perhitungan laju fermentasi, perbandingan variasi enzim pada setiap treatment mengalami penurunan massa selama proses fermentasi, hal ini menunjukkan hasil yang tidak signifikan. Jadi, dapat disimpulkan bahwa perbandingan enzim berpengaruh terhadap hasil kadar alkohol namun tidak mempengaruhi laju pada proses fermentasi.

Daftar Pustaka

- [1] Darnoko D., A. Nasution, G. Bagus, 2005, *Produksi Biodiesel Dari Crude Palm Oil*. Warta PPKS. Medan.
- [2] Hoeman S., 2012, *Prospek Dan Potensi Sorgum Sebagai Bahan Baku Bioetanol.Pusat Aplikasi Teknologi Isotop Dan Radiasi (PATIR) Dan Badan Tenaga Nuklir Nasional(BATAN)*, Jakarta Selatan.
- [3] Mosier, Nathan, et al., 2005, *Features of Promising Technologies for Pretreatment of Lignocellulosic Biomass*, Bioresource Technology, Vol. 96 , pp. 673–686.
- [4] Wiratmaja, 2011, *Pengujian Karakteristik Fisika Biogasoline Sebagai Bahan Bakar Alternatif Pengganti Bensin Murni*, Teknik Mesin, Universitas Udayana.

