

ISSN 2302 – 5182



TEKNIK DESAIN MEKANIKA

Jurnal Ilmiah Teknik Mesin

Volume 9 • Nomor 4 • OKTOBER • 2020 • Hal. 1025-1143

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 4

Hal. 1025-1143

Badung, Oktober 2020

ISSN 2302-5182

TEKNIK DESAIN MEKANIKA
Jurnal Ilmiah Teknik Mesin



Volume 9, Nomor 4, Oktober 2020, Hal. 1025 – 1143

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 4, Oktober 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 4 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 4 • Oktober 2020 • Hal. 1025 – 1143

Daftar Isi

Kekuatan Tarik Material Komposit Epoxy Berpenguat Serat Jelatang Pada Perlakuan NaOH dan Silane Muhammad Reyhanjaya Bravenanda Putra, I Gede Putu Agus Suryawan, I Ketut Suarsana	1025 - 1030
Analisa Efisiensi Perawatan Terencana Boiler Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Jeranjang I Putu Gede Yudha Adi Prasetya, I GN Priambadi dan Wayan Nata Septiadi	1031 - 1034
Simulasi <i>Drag Reduction</i> Pada Model Truk-Kontainer Dengan Penambahan <i>Side Skirts</i> Faris Reynaldi, Ainul Ghurri, dan Anak Agung Adhi Suryawan	1035 - 1039
Analisis Perpindahan Panas <i>Heat Recovery System</i> yang Terintegrasi pada <i>Water-cooled Chiller</i> Ida Bagus Oka Jeve, Made Sucipta dan Ketut Astawa	1040 - 1044
Pengaruh Resin Akrilik Terhadap Kekuatan Tarik Biokomposit Berpenguat Ampas Tebu Anak Agung Gede Aditya Putra, Cok Istri Putri Kusuma, Dewa Ngakan Ketut Putra Negara	1045- 1050
Studi Experimental Proses Termodinamika Udara Pada Pendinginan Indirect Evaporative Cooling Berbasis In-Line Solid Dry Pad A A Made Arie Prastyo, Hendra Wijaksana, N. Suarnadwipa	1051- 1056
Karakteristik Fisik dan Mekanik Greencomposite Kulit Jagung Manis (<i>Zea mays L. Sacchrata</i>) Dengan Matriks Sari Pati Singkong (<i>Manihot utilisima</i>) Hendrik Josua Pardomuan Siregar, I Wayan Surata, Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati	1057 - 1062
Pengaruh Lama Perendaman Serat Dan Fraksi Berat Serat Praksok (<i>Cordyline Australis</i>) Komposit Epoxy Terhadap Kekuatan Tarik Dan Kekuatan Lentur Ida Bagus Agung Artha Guna, I Wayan Surata, Tjokorda Gde Tirta Nindhia	1063 – 1068
Pengaruh Fraksi Berat Dan Waktu Perendaman Serat Pada Air Laut Terhadap Kekuatan Tarik Dan Kekuatan Lentur Komposit <i>Epoxy</i> Serat Praksok (<i>Cordyline Australis</i>)	1069 - 1077
Pengaruh Fraksi Berat Terhadap Kekuatan <i>Bending</i> Dan Pengamatan SEM Biokomposit Serat Kulit Jagung Dengan Matrik Resin <i>Epoxy/Polyvnyl Acetat</i> Rahmad Aditya Hasibuan, I Wayan Surata, Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati	1078 - 1081
Pengaruh Variasi Sudut Masuk Sudu Sepanjang Span Terhadap Efisiensi Blower Aksial I.G.K. Adianta , A.A.A. Suryawan, dan I.G.K Sukadana	1082 - 1088
Pengaruh Variasi Panjang <i>Span</i> Terhadap Kapasitas Udara <i>Blower</i> Aksial W.N. Suherman, A.A.A. Suryawan, I.G.K. Sukadana	1089 - 1093
Pengujian Eksperimental Tingkat Pendinginan Dan Dehumidifikasi Udara Pada Solid	1094 - 1097

Dry Pad Sistim Indirect Evaporative Cooling Pius Yulianto Daton Kedang, I Made Astika dan I Gusti Ngurah Nitya Santhiarsa	
Inhibitor Alami Dari Ekstrak Kulit Buah Naga Dalam Hubungannya Dengan Laju Korosi Pada Material Baja Api 5l Grade B Abraham Santo Christian Simanjuntak , I Nyoman Budiarsa , I Nyoman Gde Antara , Gadang Priyotomo , Arini Nikitasari , Ahmad Royani , Sundjono	1098 - 1104
Karakteristik Mekanik (Kekuatan Bending, Tarik, <i>Impact</i>) Komposit Serat Kulit Jagung Dengan Matrik Resin SHCP Polyester BQTN 268 Rizky Fajar, C.I.P.K Kencanawati, Made Widiyarta	1105 - 1110
Analisa Variasi Massa Pengisian Refrigerant R407C dengan Beban Pendinginan Sebesar 320 Watt terhadap Performansi Mesin Pendingin Ruangan Tipe Split Taufiq Pandu Dwi Utomo, N. Suarnadwipa dan Ketut Astawa	1111 - 1115
Inhibitor Alami Ekstrak Kulit Buah Naga Pada Material Baja Api 5l Setelah Perlakuan Panas Andreas Ronaldo Simanjuntak, I Nyoman Gde Antara, I Nyoman Budiarsa, Gadang Priyotomo, Ahmad Royani, Arini Nikitasari, Sundjono	1116 - 1124
Analisa Pengaruh Variasi Temperatur dan Tekanan Terhadap Unjuk Kerja Mesin CFM56-7B18 Arum Amalia, I Gusti Ketut Sukadana, I Ketut Gede Wirawan	1125 - 1132
Visualisasi Pola Aliran di Sekitar Katup Limbah Pompa Hidram pada Variasi Kemiringan Badan Katup Pengantar Keeya Shafira Gema, Made Suarda, Ainul Ghurri	1133 - 1138
Visualisasi Pola Aliran di Sekitar Katup Pengantar Pompa Hidram dengan Variasi Kemiringan Badan Katup Pengantar Tasya Lifa Tampubolon, Made Suarda dan Ainul Ghurri	1134 - 1143

Kekuatan Tarik Material Komposit Epoxy Berpenguat Serat Jelatang Pada Perlakuan NaOH dan Silane

Muhammad Reyhanjaya Bravenanda Putra, I Gede Putu Agus Suryawan, I Ketut Suarsana

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Komposit merupakan material yang diproduksi dengan menggabungkan dua atau lebih bahan dengan karakteristik yang berbeda. Salah satunya adalah gabungan antara resin epoxy dan serat tanaman jelatang (*Urtica dioica* L.). Metode pembuatannya menerapkan proses hand lay-up dengan orientasi serat acak, diberlakukan 2 jenis perlakuan kimia dan menghasilkan 2 jenis spesimen uji yang berbeda yaitu spesimen perlakuan NaOH 5% dan spesimen perlakuan Silane 3%. Tujuan dari penelitian dilakukan dengan objektif utamanya yaitu untuk mengetahui nilai material terhadap pengujian tarik maksimum spesimen komposit dengan penguat serat jelatang terhadap efek perendaman serat dengan NaOH 5% selama 2 jam dan Silane 3% selama 1 jam. Metode pengujian tarik berpedoman pada ASTM D 3039/ D 3039M. Hasil menunjukkan kekuatan tarik maksimum sebesar 19.94 MPa, regangan 7.3% dan modulus elastisitas 0.28 GPa dihasilkan oleh fraksi berat serat 20% dengan perlakuan NaOH 5%. Kekuatan tarik maksimum sebesar 17.40 MPa, regangan 4.2%, dan modulus elastisitas 0.42 GPa dihasilkan oleh fraksi berat serat 15% dengan perlakuan Silane 3%. Jika dibandingkan dengan hasil kekuatan tarik resin epoxy, membuktikan bahwa terjadi peningkatan kekuatan tarik terhadap material komposit yang diperkuat serat jelatang dengan perlakuan NaOH 5% dan Silane 3%.

Kata kunci: Komposit, epoxy, kekuatan tarik, jelatang, Silane, NaOH.

Abstract

Composite is a material produced by combining two or more materials with different characteristics. One of them is a combination of epoxy resin and stinging nettle (*Urtica dioica* L.). The production method uses hand lay-up with chopped fibers, and by applying 2 types of chemical treatments that made 2 segmented specimens that treated by 5% of NaOH and specimens treated by 3% of Silane. The main purpose of the research is to determine the ultimate tensile strength of composite specimens strengthen by nettles fibers on the effect of fiber immersion with 5% of NaOH and 3% of silane. The tensile tests method are based on ASTM D 3039 / D 3039M standard for tensile test. The results shown 19.94 MPa as the ultimate tensile strength, 7.3% strain, and 0.28 GPa young's modulus produced by 20% fiber weight fraction with 5% NaOH treatment. Another results shown 17.40 MPa as the ultimate tensile strength, 4.2% strain, and 0.42 GPa young's modulus produced by 15% fiber weight fraction with 3% Silane treatment. Both are compared with tensile strength of the epoxy resin result, it proven the tensile strengths are increased as the composites combined with stinging nettle fibers with 5% NaOH treatment and also matrix combined with stinging nettle fibers with 3% silane treatment.

Keywords: Composites, epoxy, tensile strength, stinging nettle, Silane, NaOH

1. Pendahuluan

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi saat ini dalam bidang perindustrian, salah satunya perkembangan terhadap pemanfaatan sumber daya alam/ SDA sebagai bahan baku. SDA yang dihasilkan suatu daerah akan diteliti dengan tujuan agar mampu menciptakan produk yang berkelanjutan, potensi meningkatkan nilai jual dan umumnya pengembangan dari segi ilmu pengetahuan Material yang sedang dikembangkan saat ini adalah komposit berpenguat serat dari tanaman jelatang. Komposit merupakan material yang tersusun dari gabungan dua atau lebih jenis material, yang memiliki sifat fisik material dengan pembentuknya yang beragam. Tanaman jelatang atau *stinging nettle*

merupakan tumbuhan organik yang tumbuh di tanah yang subur dan dapat tumbuh hingga 1,20 meter, memiliki serat pada kulit batang dan cocok dibudidayakan di Eropa tengah, dan cenderung menghasilkan serat dengan kekuatan tarik serta kehalusan tinggi yang luar biasa [1]. Kekurangan paling umum dari material komposit dengan serat alam adalah kurangnya *bonding* atau hubungan ikatan antara matriks dan serat alam sehingga memperoleh sifat komposit yang kurang baik [2]. Pengaplikasian unsur kimia yang sesuai terbukti mampu meningkatkan *bonding* atau hubungan ikatan antara serat dan matriks, sehingga sifat yang dihasilkan daripada material komposit menjadi lebih baik.

Dalam hal ini terdapat suatu rumusan masalah yang akan dikaji, yaitu:

1. Bagaimana pengaruh fraksi berat serat 10%, 15%, dan 20% terhadap kekuatan tarik pada material komposit *epoxy* berpenguat serat jelatang dengan perlakuan NaOH 5% selama 2 jam.
2. Bagaimana pengaruh fraksi berat serat 10%, 15%, dan 20% terhadap kekuatan tarik pada material komposit *epoxy* berpenguat serat jelatang dengan perlakuan Silane 3% selama 1 jam.

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini meliputi:

1. Metode yang digunakan pada proses penelitian adalah *hand lay-up*.
2. Tumbuhan jelatang yang digunakan berada disekitar hutan daerah Bedugul, Tabanan, diperkirakan umur pohon jelatang berumur 1 tahun.
3. Penelitian yang dilakukan adalah pengujian kekuatan tarik dengan serat jelatang direndam NaOH 5% selama 2 jam serta serat jelatang direndam Silane 3% selama 1 jam.
4. Panjang batang pohon jelatang yang digunakan berukuran minimal 500 mm.
5. Orientasi serat disusun secara acak.

2. Dasar Teori

2.1 Komposit

Bahan komposit secara umum diartikan sebagai bahan yang tersusun lebih dari satu jenis bahan penyusun yang memiliki sifat karakteristik yang berbeda dan digabungkan menjadi satu bahan material dalam bentuk makroskopik dengan ikatan mekanis dan kimia guna menciptakan suatu produk material baru yang menghasilkan karakteristik yang lebih baik daripada komponen penyusunnya.

2.2 Serat Alam

Diartikan sebagai jenis serat yang diperoleh dari unsur-unsur baik hewani maupun tumbuhan. Serat alam memiliki beberapa keunggulan dibanding serat sintesis seperti berlimpahnya bahan yang tersedia di alam, serat lebih ringan, dan lebih ramah lingkungan.

2.3 Pemberian Zat Kimia Pada Serat

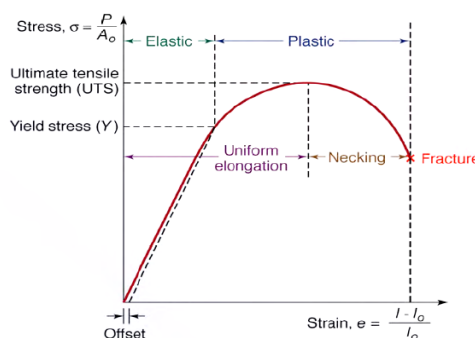
Serat alami sebelum digunakan sebagai bahan penguat pada komposit harus dibersihkan terlebih dahulu dari berbagai bahan pengotor yang dapat mengurangi kekuatan serat. Penggunaan alkali (NaOH) pada serat komposit bertujuan untuk menetralkan permukaan serat alam dari kotoran dan lignin.

Modifikasi permukaan serat jelatang secara kimia dapat dilakukan dengan perlakuan Silane yang dapat menghilangkan lignin dan hemiselulosa pada

serat dan memperkuat adhesi dari matriks dengan serat.

2.4 Uji Tarik

Uji tarik dilakukan dengan cara memberi tegangan tarik secara kontinyu sehingga pertambahan panjang material uji bertambah seiring pengujian tarik dilakukan hingga material uji putus [3].



Gambar 1. Grafik Uji Tarik

2.5 Tegangan Teknik

Tegangan yang diperoleh hasil daripada kurva tegangan teoritik adalah tegangan dengan kurva yang membujur dari hasil pengujian tarik. Nilai tegangan diketahui dengan persamaannya yaitu membagi beban (F) dengan nilai luas penampang awal (A_0) dari material uji.

$$(\sigma_t = F / A_0) \quad (1)$$

Di mana :

F = Gaya tarikan,

A_0 = Luas Penampang Awal

2.6 Regangan Teknik

Besarnya bahan mengalami nilai pertambahan regangan bergantung kepada besarnya tegangan yang diterima oleh material dalam pengujian.

$$(\varepsilon_t = \Delta L / L_0) \quad (2)$$

Di mana :

ΔL = Pertambahan Panjang

L_0 = Panjang Awal

2.7 Modulus Elastisitas (Young's Modulus)

Young's Modulus atau modulus elastisitas diartikan sebagai angka yang digunakan untuk mengukur sifat ketahanan material uji dalam mengalami deformasi elastis ketika suatu beban (F) diberikan terhadap material uji. maka hubungan antara tegangan dan regangan dirumuskan:

$$(E = \sigma_t / \varepsilon_t) \quad (3)$$

Di mana :

σ_t = Tegangan Teknik

ε_t = Regangan Teknik

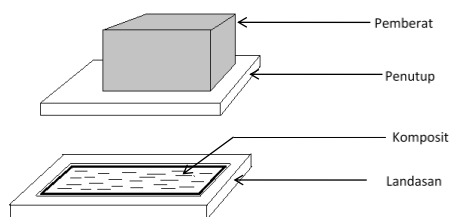
3. Metode Penelitian

3.1 Bahan

Pengujian tarik material komposit *epoxy* berpenguat serat jelatang mempergunakan peralatan dan bahan sebagai berikut:

1. Bahan matriks mengaplikasikan resin *epoxy* sebagai bahan pembuatan komposit.
2. Bahan penguat yang dipergunakan adalah serat tumbuhan jelatang yang sudah kering dan telah diberi perlakuan zat kimia alkali (NaOH) 5% selama 2 jam dan (Silane) 3% selama 1 jam, penguat disusun secara acak dengan fraksi berat serat yang telah ditentukan.
3. Gliserin untuk melapisi cetakan agar material komposit yang dihasilkan tidak menempel pada cetakan.
4. NaOH dibeli dari Toko Saba
5. Silane dengan campuran etanol/ air suling yaitu 80/20.

3.2 Alat Cetak komposit.



Gambar 2. Desain Alat Cetak Komposit

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Pemilahan Serat Tumbuhan Jelatang

Adapun langkah-langkah dalam proses pengambilan serat pada tumbuhan jelatang adalah sebagai berikut:

1. Batang tumbuhan jelatang dipotong dengan panjang 500 mm dan dikeringkan selama 3 hari dengan sinar Matahari.
2. Setelah batang tanaman jelatang kering dilanjutkan perendaman serat dengan air selama 4-5 hari pada temperatur ruangan hingga serat terpisah secara alami dengan batang, kemudian dibilas kembali menggunakan air.
3. Tahap berikutnya dalam kondisi tidak begitu kering dan dilakukan proses pemilahan antara batang dan serat secara manual.
4. Serat tumbuhan jelatang yang sudah didapatkan, kembali dikeringkan dengan dijemur selama dua hari.
5. Setelah kering serat jelatang diberi perlakuan pada larutan Alkali (NaOH) 5% selama 2 jam dan lainnya jenis material lain dengan Silane 3% selama 1 jam, bertujuan menghilangkan

kotoran pada serat dan kemudian dijemur hingga kering.

6. Setelah serat kering, serat dipotong sepanjang 5 mm.

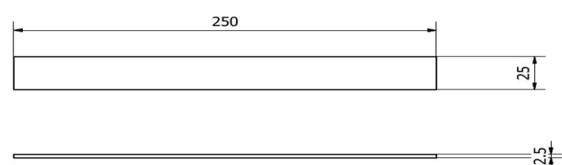
3.3.2 Proses Pembuatan Spesimen Komposit

Adapun langkah-langkah dalam pembuatan spesimen komposit adalah sebagai berikut :

1. Alat cetakan, serat jelatang yang telah direndam NaOH atau Silane, dan resin *epoxy*.
2. Serat ditimbang sesuai fraksi berat yang telah ditentukan.
3. Cetakan dibersihkan terlebih dahulu.
4. Oles gliserin secara tipis dan merata pada bagian dalam cetakan komposit.
5. Resin *epoxy* dan *hardener* dicampur sesuai perhitungan yang ditetapkan kedalam gelas ukur, aduk hingga tercampur dengan baik.
6. Tuang campuran resin *epoxy* dan *hardener* lalu gabungkan dengan serat jelatang dengan perlakuan NaOH atau Silane yang telah dipotong 5mm kedalam gelas, ratakan hingga semua bagian serat terlapisi.
7. Campuran matriks dan serat dituang ke cetakan secara acak, ratakan dan tekan dengan pengaduk yang bertujuan untuk meratakan pendistribusian.
8. Tutup cetakan dengan kaca, kemudian ditekan dengan pemberat sebagai penekan tutup cetakan dengan berat 5kg. Hal ini bertujuan agar *void* pada hasil material dapat diminimalisir.
9. Beri waktu hingga spesimen mengering atau mengeras selama 8-12 jam.
10. Ulangi langkah dari awal untuk variasi fraksi berat serat yang telah ditentukan.
11. Setelah kering, spesimen komposit dikeluarkan dari cetakan, hasil spesimen diamati terhadap *void* dan kelengkungan secara visual.
12. Setelah semua spesimen selesai dibuat, simpan pada wadah kotak sebelum dilakukan pengujian.
13. Spesimen siap untuk diuji tarik.

3.4 Pengujian Kekuatan Tarik

Pengujian kekuatan tarik bertujuan untuk mengetahui besarnya nilai kekuatan tarik antaranya *stress*, *strain* dan modulus elastisitas dari bahan komposit. Material pengujian kekuatan tarik dibentuk menurut standar ASTM D 3039/ D 3039M [4]. Ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 3. Spesimen Uji Kekuatan Tarik

Langkah-langkah pengujian kekuatan Tarik dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

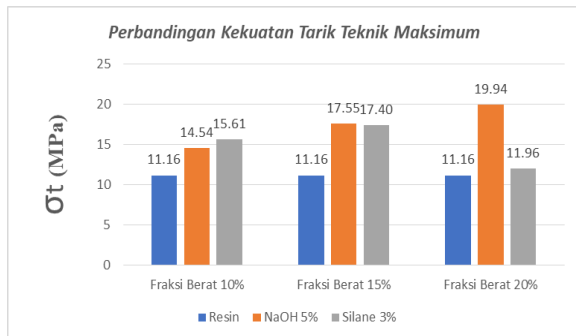
1. Siapkan spesimen dan alat pengujiannya.
2. Ukur dimensi spesimen meliputi: panjang, lebar dan tebal.
3. Menghidupkan alat uji tarik.
4. Lalu tempatkan spesimen uji pada masing-masing penjepit alat pengujian.
5. Mengoperasikan alat dan memberikan beban pada spesimen uji kontinyu hingga patah.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Pengujian Tarik

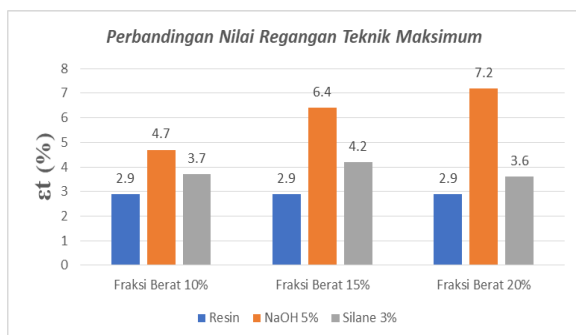
Setelah melakukan pengujian tarik, diperoleh nilai kekuatan tarik berupa tegangan, regangan dan modulus elastisitas komposit berpenguat serat jelatang dengan perlakuan NaOH 5% selama 2 jam dan Silane 3% selama 1 jam.

Berdasarkan data pemerolehan data dari pengujian tarik, dapat buat grafik seperti di bawah

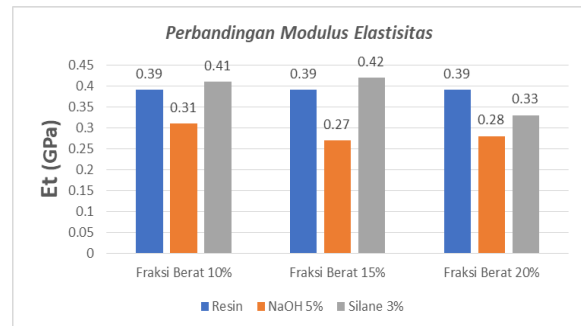


ini.

Gambar 4. Grafik Hubungan Fraksi Berat Serat Jelatang dengan Nilai Kekuatan Tarik pada Spesimen Resin, Spesimen Perlakuan NaOH 5% dan Spesimen perlakuan Silane 3%



Gambar 5. Grafik Hubungan Fraksi Berat Serat Jelatang dengan Nilai Regangan pada Spesimen Resin, Spesimen Perlakuan NaOH 5% dan Spesimen Perlakuan Silane 3%



Gambar 6. Grafik Hubungan Fraksi Berat Serat Jelatang dengan Nilai Regangan pada Spesimen Resin, Spesimen Perlakuan NaOH 5% dan Spesimen Perlakuan Silane 3%

4.2 Pembahasan Pengujian Tarik

Grafik pada gambar 4 menunjukkan perbandingan kekuatan tarik rata-rata setiap fraksi berat. Terdapat spesimen resin *epoxy*, spesimen fraksi berat serat jelatang terhadap perlakuan NaOH 5% dan Silane 3%. Pengaruh perlakuan fraksi berat yang menghasilkan kekuatan tarik terendah adalah fraksi berat serat 20% perlakuan Silane 3%, menghasilkan kekuatan tarik rata-rata sebesar 11,96 MPa. Nilai kekuatan tarik tertinggi dihasilkan spesimen dengan fraksi berat serat 20% dengan perlakuan NaOH 5% yang menghasilkan kekuatan tarik rata-rata 19,94 MPa.

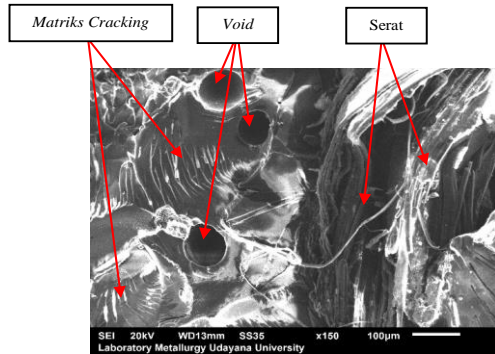
Terlihat pada gambar 5 menunjukkan perbandingan dari nilai regangan dari setiap spesimen resin *epoxy*, spesimen fraksi berat serat jelatang terhadap perlakuan NaOH 5% dan Silane 3%. Dalam grafik menunjukkan fraksi berat 20% perlakuan NaOH 5% menghasilkan persentase regangan 7,3%. Persentase regangan terendah dihasilkan spesimen fraksi berat serat 20% perlakuan Silane 3% dengan hasil pertambahan 3,3%.

Grafik pada gambar 6 menunjukkan perbandingan rata-rata modulus elastisitas terhadap spesimen fraksi berat serat perlakuan NaOH 5% dan Silane 3%. Nilai modulus elastisitas terendah dihasilkan pada fraksi berat 15% perlakuan NaOH 5% dengan nilai 0,27 GPa. Nilai rata-rata modulus elastisitas tertinggi diperoleh oleh spesimen fraksi berat serat 15% perlakuan Silane 3% dengan nilai 0,42 GPa. Peningkatan modulus berkenaan dengan perlakuan Silane yang berkaitan dengan peningkatan ikatan antara serat dan matriks [5].

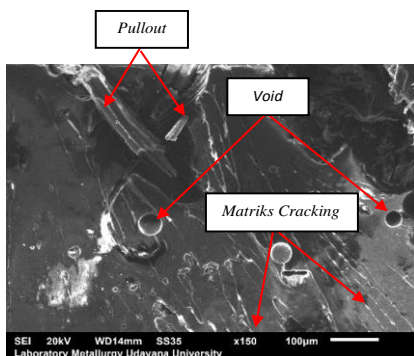
Jika dibandingkan dengan spesimen resin *epoxy*, terlihat bahwa spesimen resin *epoxy* menghasilkan kekuatan tarik rata-rata sebesar 11,17 MPa dengan regangan 2,9%. Hal tersebut menunjukkan kekuatan tarik material komposit mengalami kenaikan dengan bertambahnya fraksi berat serat jelatang dengan perlakuan NaOH 5% dan Silane 3%. Hal ini didukung bahwa material komposit dengan perlakuan 5% NaOH selama 2 jam memiliki kekuatan tarik dan regangan terbesar [6]. Hal ini didukung bahwa

kehadiran *Silane coupling agent* dapat meningkatkan adhesi antara serat dengan matriks dan mengakibatkan meningkatnya sifat mekanik dari komposit. [7].

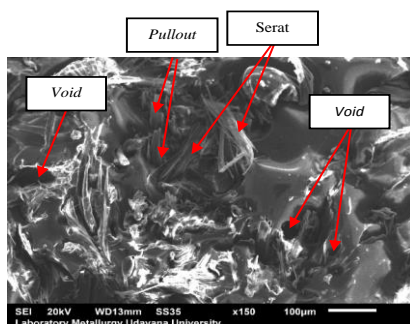
4.3 Hasil Scanning Electron Microscope (SEM)



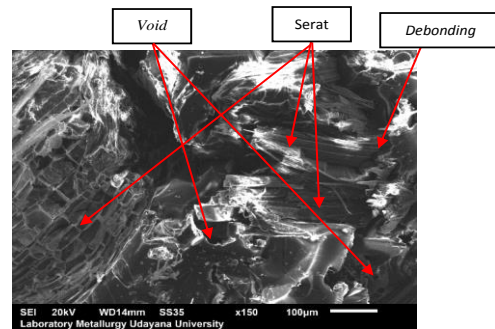
Gambar 7. Foto SEM Spesimen Fraksis Berat Serat Jelatang 10% dengan Perlakuan Silane 3%



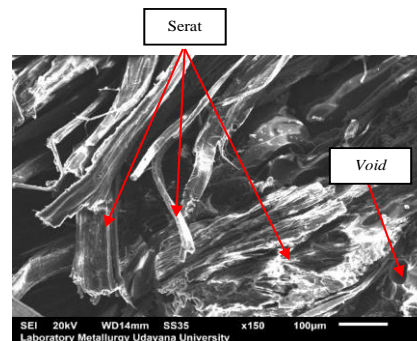
Gambar 8. Foto SEM Spesimen Fraksis Berat Serat Jelatang 15% dengan Perlakuan Silane 3%



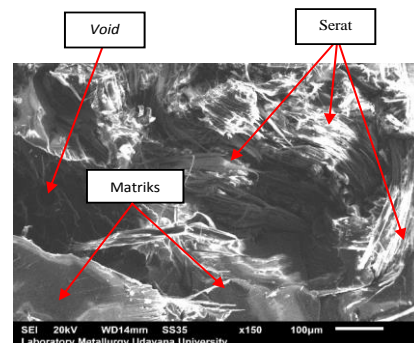
Gambar 9. Foto SEM Spesimen Fraksis Berat Serat Jelatang 20% dengan Perlakuan Silane 3%



Gambar 10. Foto SEM Spesimen Fraksis Berat Serat Jelatang 10% dengan Perlakuan NaOH 5%



Gambar 11. Foto SEM Spesimen Fraksis Berat Serat Jelatang 15% dengan Perlakuan NaOH 5%



Gambar 12. Foto SEM Spesimen Fraksis Berat Serat Jelatang 15% dengan Perlakuan NaOH 5%

4.4 Pembahasan Scanning Electron Microscope

Hasil dukungan dari pengamatan spesimen dengan *Scanning Electron Microscope*, dapat terlihat Gambar 4.10 untuk fraksi berat serat 20% perlakuan NaOH 5% memiliki kekuatan tarik tertinggi dengan pengamatan SEM yang memiliki hubungan antar serat dengan matriks yang cukup baik serta minim terdapat ruang kosong. Pada hasil fraksi berat serat 20% perlakuan Silane 3% yang memiliki kekuatan tarik terendah, didapatkan hasil pengamatan SEM gambar 4.7 menunjukkan terdapat serat *pullout* dari matriks, serta terlihat pendistribusian serat pada

material uji tidak cukup merata yang menyebabkan terjadinya penggumpalan pada matriks.

5. Kesimpulan

Maka kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian dan pembahasan di atas adalah :

1. Pengaruh fraksi berat serat terhadap kekuatan tarik material *epoxy* berpenguat serat jelatang dengan perlakuan NaOH 5%, hasil tegangan tarik maksimum tertinggi dihasilkan oleh fraksi berat serat 20% dengan kekuatan tarik 19.94 MPa, dengan regangan 7.3% dan modulus elastisitas 0.28 GPa. Kekuatan tarik meningkat seiring bertambahnya fraksi berat serat jelatang dengan perlakuan NaOH 5%.
2. Pengaruh fraksi berat serat terhadap kekuatan tarik material *epoxy* berpenguat serat jelatang dengan perlakuan Silane 3%, hasil tegangan tarik maksimum tertinggi dihasilkan oleh fraksi berat serat 15% dengan kekuatan tarik 17.40 MPa, dengan regangan 4.2% dan modulus elastisitas 0.41 GPa. Kekuatan tarik meningkat hingga fraksi berat serat 15% dan menurun pada fraksi berat serat 20%.

Daftar Pustaka

- [1] Holger Fischer, Elena Werwein and Nina Graupner, 2012, *Nettle fibre (Urtica dioica L.) reinforced poly (lactic acid)*: Vol. 46, Issue 24. A first approach.
- [2] Akil, M. H. et al., 2011, *Kenaf Fiber Reinforced Composites*: A review. Journal Elsevier. (online) 32 (8-9): 4107-4121, (www.sciencedirect.com), accessed 5 Oktober 2019.
- [3] Robert Denti S., Jan Soukota, Rudy Poeng., *Pemodelan Pengujian Tarik Untuk Menganalisis Sifat Mekanik Material*. Vol. 2, No. 2, Teknik Mesin Univeritas Sam Ratulangi
- [4] ASTM D 3039/ D 3039M. *Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials*, ASTM International, United States.
- [5] R. Sepe, F. Bollino, L. Boccarusso, F. Caputo, 2017, *Influence of chemical treatments on mechanical properties of hemp fiber reinforced composites*. Vol. 133, pp. 210-217, University of Naples.
- [6] Diharjo K., *Pengaruh Perlakuan Alkali terhadap Sifat Tarik Bahan Komposit Serat Rami-Polyester*. Vol 8, No. 1 , pp. 8-13: Universitas Negeri Sebelas Maret.

- [7] Ismail, H., Suhelmy S., Edyham M.R., 2002, *The Effect Of Silane Coupling Agent On Curing Characteristics and Mechanical Properties Of Bamboo Fibre Filled Natural Rubber Composites*, Vol. 38, Issue 1, pp. 39-47, Universiti Sains Malaysia, Penang, Malaysia



Analisa Efisiensi Perawatan Terencana Boiler Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Jeranjang

I Putu Gede Yudha Adi Prasetya, I GN Priambadi dan Wayan Nata Septiadi
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Boiler merupakan benjana tertutup yang berfungsi untuk memindahkan panas hasil pembakaran bahan bakar ke air yang akhirnya menghasilkan uap yang digunakan untuk proses di luar boiler itu sendiri, seperti pemanas untuk penggerak turbin, dan sebagainya. Melakukan perawatan yang baik pada boiler menghasilkan efisiensi yang baik pada boiler dan menghemat biaya operasional secara umum berbagai usaha dapat dilakukan untuk menghemat produksi uap diantaranya dengan menabahkan peralatan yang bertujuan untuk memperbesar efisiensi dan dengan pengantian jenis bahan bakar yang baru dengan nilai kalor yang tinggi. Pengoperasian dan perawatan yang baik mampu meningkatkan efisiensi pada boiler secara signifikan apabila dilakukan secara terencana dan sesuai dengan aturan maupun SOP yang berlaku. Menjaga kehandalan kerja boiler di perlukan perawatan yang terencana agar baik pada saat beroperasi. Melakukan perawatan terencana pada boiler dapat meminimalisir kerusakan, meningkatkan kinerja boiler, dan menghasilkan efisiensi yang tinggi.

Kata kunci: perawatan, boiler, dan efisiensi

Abstract

The Boilers is an enclosed laver that serves to transfer the heat of the combustion fuel to the water which eventually generates the steam that is used for the process outside the boiler itself, such as heating for the turbine roaches, and so on. Doing good maintenance on the boiler will produce good efficiency in the boiler and save operational Biaya in general various efforts can be done to save the production of steam in between by upgrading equipment that aims to increase efficiency and with a new fuel type wait with high heat value. Good operation and maintenance will increase the efficiency of the boiler significantly when done in a planned and compliant rules and SOP. Maintain the reliability of the boiler work in need of treatment is planned to be good at the time of the operations. Conducting planned maintenance on the boiler will minimize damage, improve boiler performance, and produce high efficiency.

Keywords: Maintenance, boilers, and efficiency

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi listrik di era modern seperti sekarang merupakan kebutuhan primer bagi masyarakat. Seiring dengan perkembangan teknologi yang begitu cepat sehingga kebutuhan akan energi listrik menjadi sangat tinggi, maka dari itu dibangunlah pembangkit listrik untuk memenuhi kebutuhan listrik bagi masyarakat [1]. Menyadari pentingnya arti listrik untuk menunjang kebutuhan energi listrik setiap harinya PT (persero) Sektor Jeranjang memiliki 3 unit pembangkit dengan daya setiap unit 25 MW yang salah satunya menggunakan tenaga uap.

PLTU Jeranjang merupakan pembangkit baru sehingga kemungkinan turunya efisiensi dimasa depan akan terjadi, adapun hal yang menyebabkan efisiensi boiler turun antara lain: pembakaran yang tidak sempurna, kotornya permukaan penukaran panas, serta buruknya operasi dan perawatan yang dilakukan pada boiler memberikan dampak yang buruk bagi efisiensi boiler itu sendiri sehingga mempengaruhi kinerjanya [2].

Dalam penelitian ini diambil beberapa batasan sebagai berikut:

1. Mengetahui bagaimana proses pelaksanaan perawatan pada PLTU jeranjang yang sesuai dengan SOP.
2. Bagaimana Metode pemeliharaan boiler yang ada pada PLTU jeranjang.
3. Pengambilan data boiler untuk mengetahui efisiensi yang ada pada boiler.
4. Perawatan boiler bertujuan untuk meminimalisir kerusakan yang terjadi pada boiler dan diharapkan dapat menghasilkan efisiensi yang tinggi.

2. Dasar Teori

Meningkatkan Efisiensi maka diperlukan tindakan perawatan terencana untuk mengurangi jumlah kegagalan dan downtime dari suatu mesin [3]. Dengan menggunakan metode perpindahan panas mengetahui entalpi (hs) dari boiler dan aliran uap utama yang masuk ke dalam boiler dan nilai kalor yang terdapat pada bahan bakar maka akan dapat hasil dari efisiensi boiler.

Berdasarkan rumus efisiensi boiler pada PLTU jeranjang:

$$\eta = \frac{msf \times hs}{nk \times \text{flow bahan bakar}} \quad (1)$$

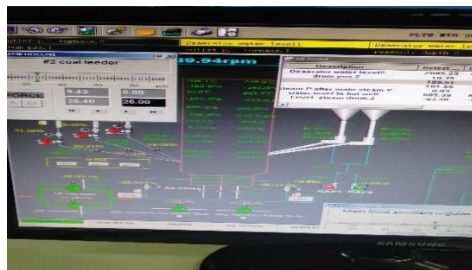
Keterangan:

Msf = Main steam flow (Aliran uap utama)
Hs = Entalpi
nk = nilai kalor (kj/kg)
Flow bb = aliran bahan bakar yang masuk ke boiler

3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PLTU Jeranjang dengan metode survei dan analisis dimana data perawatan diambil dari SOP yang telah ditentukan oleh perusahaan. Dan perhitungan efisiensi bertujuan untuk mengetahui kehandalan kerja dari boiler itu sendiri, dengan dilakukan perawatan yang terencana dapat meminimalisir kerusakan yang terjadi di boiler.

Penelitian ini dilakukan melalui survei dengan melihat temperatur uap panas yang di hasilkan oleh boiler dengan memantau melalui dcs operator control, dan melakukan perawatan boiler. Hasil pengamatan dibawa ke dcs log sheet boiler pada unit 3 untuk mengetahui kinerja atau efisiensi dari boiler tersebut dapat dilihat pada gambar 1 sampai gambar 3 di bawah.



Gambar 1. DCS Operator Control Boiler



Gambar 2. Perawatan Boiler

Gambar 3. Dcs Log Sheet Boiler

Prosedur penelitian yang dilakukan untuk mendapatkan efisiensi boiler antara lain:

1. Data hasil perawatan boiler
2. Temperatur (c°) yang di hasilkan boiler
3. Entalpi (j/kg) yang terdapat pada boiler
4. Nilai kalor bahan bakar (kj/kg)
5. Aliran uap utama boiler (MPa)
6. Flow bahan bakar (Ton/hs)

4. Hasil dan Pembahasan

Melakukan perawatan terhadap boiler diharapkan dapat membuat boiler bekerja seperti keadaan awalnya, boiler yang baik adalah boiler yang memiliki efisiensi yang tinggi. Efisiensi boiler dapat diketahui dari data terkait yang diperoleh langsung dari perusahaan meliputi temperatur, nilai kalor, aliran uap boiler dapat dilihat dari tabel di bawah:

Tabel 1. Dcs log

JAM m	TEMPERATURE °C	PRESSURE MPa
01:00	520°C	9,47
05:00	516°C	9,39
10:00	516°C	9,46
14:00	523°C	9,53
18:00	519°C	9,48
22:00	522°C	9,55

FLOW BAHAN BAKAR Ton/Hs	NK (KALOR) Kj/kg	FLOW MPa
24,37	4231	103,22
24,41	4231	103,7
23,9	4231	101,76
23,61	4231	100,15
24,11	4231	102,85
23,83	4231	103,18

4.1 Perhitungan Entalpi

Entalpi 9.00 yang ada pada tabel entalpi

$$\begin{aligned} 550 - 500 &= \frac{3512.0 - 3387.4}{x - 3387.4} \\ \frac{520 - 500}{50} &= \frac{124.6}{x - 3387.4} \\ 20 &= \frac{124.6}{x - 3387.4} \\ 50(x - 3387.4) &= 20(124.6) \\ x &= \frac{169.370}{2.492 + 169.370} \\ x &= \frac{171.862}{50} \\ x &= 3,437.24 \text{ j/kg} \end{aligned}$$

Entalpi 10,00 yang ada pada tabel entalpi

$$\begin{aligned} 550 - 500 &= \frac{3502.0 - 3375.1}{x - 3375.1} \\ \frac{520 - 500}{50} &= \frac{126.9}{x - 3375.1} \\ 20 &= \frac{126.9}{x - 3375.1} \\ 50(X - 3375.1) &= 20(126,9) \\ 50x - 168.755 &= 2.538 \\ 50x &= 168.755 + 2.538 \\ x &= \frac{171.293}{50} \\ x &= 3,425.86 \text{ j/kg} \end{aligned}$$

Mencari entalpi 9,47

$$\frac{10.00 - 9.00}{9.47 - 9.00} = 2.13$$

$$\frac{3.425,86 - 3.437,24}{11.38} = 11.38$$

$$\frac{2.13}{5.35} = 5.35$$

$$5.35 + 3,437.24 = 3,431.89 \text{ j/kg}$$

4.2 Perhitungan Efisiensi

$$\eta = \frac{msf \times hs}{nk \times \text{flow bahan bakar}} \times 100 \%$$

$$= \frac{103,22 \times 3,431.89}{4231 \times 24,37} \times 100 \%$$

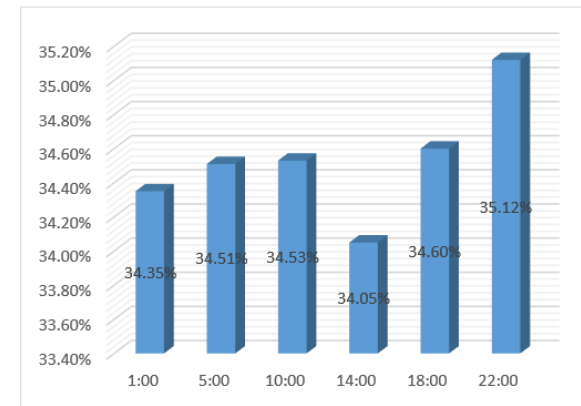
$$= \frac{0,0034355689}{103,109,47} \times 100 \%$$

$$= 0,0034355689 \times 100 \%$$

$$= 34.35 \%$$

Tabel 2. Entalpi

Superheated water (Continued)											
T		v		u		h		s		v	
°C	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	m ³ /kg	kJ/kg
P = 0.8 MPa (29.523 inHg)											
300	0.04478	2621.7	2862.8	6.096	0.04456	2599.7	2798.0	6.0198	0.03945	2587.0	2794.2
350	0.04642	2628.9	2887.3	6.107	0.04559	2653.9	2854.9	6.0516	0.04139	2650.4	2851.3
400	0.04887	2726.2	2961.7	6.363	0.05138	2713.0	2944.2	6.2854	0.04539	2699.0	2925.7
450	0.05247	2827.4	3053.3	6.594	0.05827	2784.2	3034.2	6.5152	0.05129	2769.5	3016.3
500	0.05743	2920.8	3154.5	6.774	0.06477	2847.7	3125.7	6.7071	0.05784	2827.5	3106.7
600	0.06829	3212.0	3322.2	7.038	0.07976	3005.4	3216.2	6.9770	0.06820	3006.6	3212.7
700	0.08444	3502.9	3440.0	7.292	0.09762	3296.2	3440.0	7.2323	0.08408	3291.8	3434.7
800	0.10296	3727.4	3504.9	7.510	0.10854	3468.0	3470.0	7.3762	0.09815	3273.0	3464.9
900	0.11978	3842.4	3593.3	7.624	0.10980	3640.0	3503.0	7.5647	0.09882	3457.7	3500.3
1000	0.12292	3920.6	3616.3	7.652	0.10946	3648.0	3510.0	7.5922	0.09815	3456.9	3472.7
1100	0.11876	3841.8	3589.9	7.675	0.11372	3843.1	3482.1	8.0118	0.10789	3841.8	3482.2
1200	0.11624	4051.1	3631.2	7.698	0.11300	4043.9	3479.8	8.2144	0.11776	4052.6	3476.8
1300	0.11824	4251.4	3684.6	7.712	0.11804	4250.4	3489.3	8.6060	0.12659	4249.5	3482.1
1400	0.11992	4452.5	3742.2	7.718	0.11923	4462.6	3542.2	8.9880	0.13595	4451.6	3543.9
1500	0.11819	4680.9	3822.2	7.716	0.11610	4680.1	3506.5	9.3616	0.14527	4679.3	3492.7
P = 1.0 MPa (29.523 inHg)											
300	0.03545	2589.9	2784.6	5.890	0.03778	2581.0	2772.6	5.8148	0.03525	2575.5	2774.7
350	0.03619	2648.4	2855.6	6.070	0.03942	2633.0	2839.9	5.9337	0.03479	2592.3	2785.5
400	0.03742	2761.6	2943.9	6.310	0.04292	2701.0	2916.5	6.2395	0.03709	2708.8	2888.1
450	0.04017	2881.7	3033.9	6.519	0.04818	2789.0	3008.1	6.4932	0.04134	2804.6	3004.8
500	0.04401	2985.9	3128.8	6.719	0.05487	2879.0	3098.1	6.6933	0.04548	2892.8	3104.8
600	0.05482	3281.9	3265.8	6.968	0.06417	3018.0	3211.8	6.9005	0.05179	3004.6	3208.6
700	0.06102	3571.2	3354.3	7.038	0.07166	3167.9	3315.1	6.9507	0.05672	3160.5	3313.8
800	0.06727	3857.2	3408.8	7.109	0.07856	3316.3	3316.3	7.0010	0.05943	3316.7	3404.7
900	0.07355	4143.0	3484.3	7.157	0.08260	3468.1	3388.3	7.3487	0.06429	3443.6	3482.2
1000	0.07819	4431.2	3536.6	7.192	0.08496	3619.9	3432.0	7.5836	0.06741	3619.7	3478.8
1100	0.08064	4618.8	3576.6	7.210	0.08750	3803.1	3472.0	7.8014	0.06788	3803.7	3469.3
1200	0.08194	4811.1	3615.6	7.218	0.08957	4012.0	3482.0	8.0054	0.07079	4012.0	3476.0
1300	0.10549	4241.1	3479.7	7.210	0.09041	4240.0	3477.4	8.1982	0.07925	4242.8	3476.0
1400	0.11210	4458.8	3518.4	7.204	0.09179	4472.0	3537.4	8.3820	0.08493	4456.1	3526.0
1500	0.11207	4677.7	3494.1	7.203	0.10378	4676.1	3493.0	8.5551	0.09067	4674.9	3493.0
P = 1.5 MPa (29.523 inHg)											
300	0.02406	2589.9	2743.9	5.676	0.01808	2542.1	2725.1	5.5158	0.01848	2544.4	2634.9
350	0.02328	2647.6	2817.1	5.878	0.01977	2611.4	2810.3	5.7396	0.01818	2624.9	2826.6
400	0.02384	2725.0	2912.3	6.038	0.02149	2684.1	2904.4	5.9456	0.02030	2709.9	2908.0
450	0.02390	2843.2	3008.8	6.287	0.02346	2763.1	3007.5	6.2141	0.02010	2813.7	3015.6
500	0.02424	2956.9	3096.0	6.497	0.02590	2844.1	3104.4	6.4719	0.02010	2913.7	3015.6
600	0.02479	3248.9	3287.4	6.660	0.03011	3047.0	3276.1	6.5995	0.02030	3212.3	3214.6
700	0.02608	3512.0	3371.0	6.816	0.03599	3194.0	3362.0	6.7880	0.02010	3212.3	3214.6
800	0.02781	3744.4	3451.2	6.950	0.04378	3342.0	3425.8	6.9545	0.02030	3212.8	3214.6
900	0.02983	3948.8	3511.1	7.055	0.05319	3518.0	3478.1	7.1008	0.02049	3212.8	3214.6
1000	0.03212	4121.2	3551.2	7.140	0.06497	3816.0	3507.0	7.1693	0.02049	3212.8	3214.6
1100	0.03478	4261.6	3581.2	7.205	0.07969	4144.0	3514.0	7.2608	0.02070	3212.8	3214.6
1200	0.03782	4381.7	3611.2	7.252	0.09747	4506.0	3522.0	7.3290	0.02120	3212.8	3214.6
1300	0.04119	4491.4	3641.2	7.285	0.11889	4918.0	3530.0	7.3786	0.02180	3212.8	3214.6
1400	0.04499	4591.7	3671.2	7.307	0.14439	5398.0	3538.0	7.4111	0.02250	3212.8	3214.6
1500	0.04923	4691.7	3701.2	7.319	0.17467	5974.0	3546.0	7.4284	0.02340	3212.8	3214.6



Gambar 4 Grafik perbandingan efisiensi

Gambar 4 merupakan perbandingan efisiensi pada setiap jamnya, efisiensi terendah diperoleh pada jam 14.00 dengan nilai 34,05% sedangkan efisiensi tertinggi didapatkan pada pukul 22.00 dengan nilai efisiensi sebesar 35,12%.

Hal yang mempengaruhi efisiensi bisa naik turun ada 2 faktor yaitu:

1. Pemakaian listrik.
2. Suhu di luar boiler.

Hal ini lah yang menyebabkan efisiensi pada jam 2 siang bisa sangat rendah di karenakan suhu di luar boiler yang panas sehingga bahan bakar cepat memuai dan yang kedua disebabkan banyak kegiatan yang menggunakan listrik pada jam 2 siang sehingga efisiensinya menurun. Dan efisiensi yang tertinggi di peroleh pada jam 10 malam, ketika malam hari suhu tidak terlalu panas sehingga bahan bakar tidak cepat memuai dan pemakai listrik pada malam hari tidak terlalu banyak hal inilah yang menyebabkan efisiensi pada jam 10 malam menjadi lebih tinggi.

5. Kesimpulan

Pengoprasian serta perawatan yang baik dan terencana dengan strandar yang sudah ditentukan oleh perusahaan membuat boiler itu bekerja dengan efektif, efisien dan aman bagi boiler itu sendiri dan operator. Jika tidak dilakukannya perawatan sesuai dengan buku manual ataupun standar perusahaan dapat menyebabkan penurunan efiesiesi ataupun kerusakan pada boiler itu sendiri. Keaman bekerja menjadi terganggu jika sampai boiler mengalami kerusakan mendadak, hal inilah yang menyebabkan harus adanya perawatan yang berkala pada boiler.

Dengan mencari pressure di tengah-tengah dari pressure entalpi pada tabel antara 9.00 dan 10.00 maka diperoleh entalpi yang diinginkan untuk menghitung entalpi yang ada pada boiler. Contoh di atas yaitu dengan pressure 9,47 yang tidak terdapat pada tabel maka akan dicari dengan menggabungkan pressure dari 9 dan 10.

4.3 Hasil Efisienai

Tabel 3. Hasil Efisienai

Jam s	Temperature °C	Msf MPa	Flow BB Ton/jam	Entalpi j/kg	Efisiensi
01:00	520°C	103,22	24,37	3,431.80	34,35%
05:00	516°C	103,7	24,41	3,422.76	34,51%
10:00	516°C	101,76	23,9	3,421.95	34,53%
14:00	523°C	100,15	23,61	3,438.76	34,05%
18:00	519°C	102,85	24,11	3,429.26	34,60%
10:00	522°C	103,18	23,83	3,436.01	35,12%

Hasil efisiensi dimana efisiensi tertinggi diperoleh pada jam 22:00 (sepuluh malam) dengan efiesiesi 35,125 faktor yang menyebabkan ini bisa dilihat

Daftar Pustaka

- [1] Rachman, H., 2017, *Usulan Perawatan Sistem Boiler dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM)*, Jurnal Teknik Industri, Vol.18, No. 1, pp. 86-93.
- [2] Ridwan, A, A. L., 2014, *Simulasi Perhitungan Unjuk Kerja / Performansi Boiler Pembangkit Listrik Tenaga Uap Berbahan Bakar Batu Bara*. Jurnal Surya Teknika , Vol.2, No.2, pp. 69-77.
- [3] Sugiharto, & Agus, 2016, *Tinjauan Teknis Pengoperasian dan Pemeliharaan Boiler*, Forum Teknologi, Vol. 6, No. 2, pp. 56-68.

	<p>I Putu Gede Yudha Adi Prasetya menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana pada Program Studi Teknik Mesin, pada tahun 2020.</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan Perpindahan Panas Dan Termodinamika</p>	

Simulasi *Drag Reduction* Pada Model Truk-Kontainer Dengan Penambahan *Side Skirts*

Faris Reynaldi, Ainul Ghurri, dan Anak Agung Adhi Suryawan
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Peningkatan karakteristik aerodinamik pada kendaraan dapat berkontribusi sebagai salah satu solusi dalam permasalahan tingkat konsumsi bahan bakar dan polusi gas emisi yang berlebih khususnya pada jenis kendaraan berat truk-kontainer. Salah satu bagian dari truk-kontainer yang menjadi penyebab tingginya nilai gaya hambat terletak pada sisi bawah truk-kontainer (*clearance* antara permukaan jalan dan sisi bawah kontainer), karena terjadi aliran udara pada bagian tersebut. Telah banyak studi yang dilakukan guna menentukan cara yang efektif untuk mereduksi hambatan aerodinamik kendaraan khususnya pada truk-kontainer, salah satunya yang digunakan pada penelitian ini adalah penambahan aerodynamic devices berupa *side skirts* dengan variasi pada sudutnya. Tercatat bahwa penambahan *side skirts* dengan sudut 0° dan 15° dapat mereduksi koefisien drag masing-masing hingga 3% dan 1%. Penambahan besar sudut pada *side skirts* dapat berdampak pada penurunan nilai reduksi gaya drag yang terjadi.

Kata Kunci : aerodinamik, emisi, truk-kontainer, *clearance*, *side skirts*, sudut, drag, reduksi

Abstract

An improvement on aerodynamic characteristics of vehicles can contribute as a solution to the problem of fuel consumption levels and excessive emissions of gas emissions, especially in the type of heavy vehicle container trucks. One part of the container trucks which is the cause of the high value of drag is located on the bottom side of the container truck (*clearance* between the surface of the road and the bottom side of the container), due to air flow in that section. Many studies have been conducted to determine an effective way to reduce aerodynamic drag of vehicles especially in container trucks, one of which is used in this study is the addition of aerodynamic devices in the form of *side skirts* with variations in the angle. It is noted that the addition of *side skirts* with angles of 0° and 15° can reduce the drag coefficient to 3% and 1% respectively. Large increase in angle on the *side skirts* can have an impact on the reduction in the value of the drag force reduction that occurs.

Keywords: aerodynamics, emissions, container trucks, *clearance*, *side skirts*, angles, drag, reduction

1. Pendahuluan

Bahan bakar fosil menjadi pusat pertumbuhan dan perdagangan sejak industrialisasi mendominasi perekonomian.

Di banyak aplikasi, energi yang terkandung pada bahan bakar fosil khususnya bahan bakar minyak telah lama mendominasi sektor transportasi. Dalam beberapa tahun terakhir, kekhawatiran telah muncul atas konsekuensi lingkungan akibat emisi dari proses pembakaran bahan bakar serta kekhawatiran atas kapasitas ketersediaan bahan bakar untuk melayani permintaan yang terus meningkat [1].

Peningkatan karakteristik aerodinamik pada kendaraan dapat berkontribusi sebagai salah satu solusi dalam permasalahan tingkat konsumsi bahan bakar dan polusi gas emisi yang berlebih. Dari data yang ada, terindikasi bahwa 27% konsumsi energi di United States digunakan untuk sistem transportasi, dan 60% energi pada sistem transportasi tersebut digunakan untuk mengatasi hambatan aerodinamik (*aerodynamic drag*) yang muncul [2].

Telah banyak studi yang dilakukan guna menentukan cara yang efektif untuk mereduksi hambatan aerodinamik kendaraan khususnya pada truk-kontainer. Berbagai macam perlengkapan pereduksi gaya hambat (*drag reducing devices*) telah

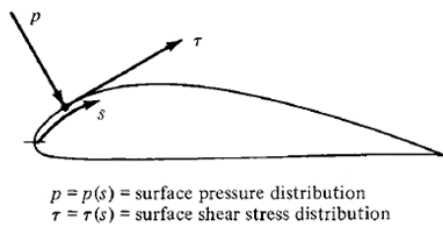
diperkenalkan untuk mengaktifkan reduksi gaya drag pada truk-kontainer, diantaranya adalah penambahan *cab-roof fairing* (CRF), *gap fairing*, *side extenders*, *side skirts*, dan *boat tail* [3].

Salah satu bagian dari truk-kontainer yang menjadi penyebab tingginya nilai gaya hambat terletak pada sisi bawah truk-kontainer (*clearance* antara permukaan jalan dan sisi bawah kontainer), karena terjadi aliran udara pada bagian tersebut. Aliran udara yang melintasi bagian bawah truk-kontainer berkontak secara langsung dengan desain struktur yang sangat kompleks antara lain roda, as roda (*axles*), rangka, dan komponen mekanikal lainnya. Wood [4], menyebutkan bahwa aliran udara pada sisi bawah truk-kontainer berkontribusi menghasilkan setidaknya 30% dari total hambatan aerodinamik. Dari data tersebut, maka penambahan *side skirts* yang berfungsi sebagai penyearah aliran udara di daerah *clearance* kontainer bisa dipertimbangkan sebagai cara untuk mengurangi drag di area tersebut. Untuk itu dalam penelitian ini akan diuji pengaruh penambahan *side skirts* dengan variasi sudut 0° , 15° , 30° , dan 45° terhadap gaya hambat aerodinamik yang terjadi pada model truk-kontainer dengan simulasi CFD.

2. Dasar Teori.

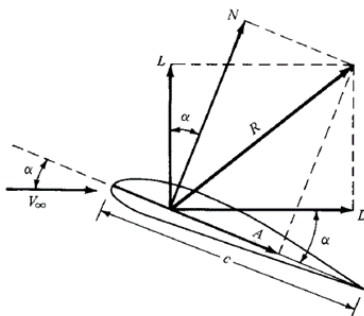
Menurut *The American Heritage Dictionary of The English Language* [5], Aerodynamics adalah ilmu yang mempelajari gerak dinamis gas, terutama interaksi atmosferik terhadap objek yang bergerak relatif di dalam aliran fluida tersebut.

Di setiap kasus dalam studi aerodinamik, gaya aerodinamik pada sebuah geometri disebabkan oleh dua sumber, yaitu distribusi tekanan pada permukaan benda dan distribusi tegangan geser pada permukaan benda. Keduanya, tekanan p dan tegangan geser τ memiliki dimensi gaya per unit area (N/m^2). Seperti pada gambar 1, p bereaksi dengan arah normal terhadap permukaan, dan τ bereaksi dengan arah tangensial terhadap permukaan. Tegangan geser τ menyebabkan aksi hantakan pada permukaan akibat gesekan antara body dengan udara.



Gambar 1. Tekanan dan Gaya Geser Permukaan

Efek dari distribusi tekanan p dan tegangan geser τ yang terintegrasi diseluruh permukaan body adalah resultan dari gaya aerodinamik R dan momen pada body M seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. Gaya Aerodinamik pada Airfoil

Dimana terjadi gaya *Drag* (D), *Lift* (L), *Normal* (N), dan *Axial* (A) pada geometri tersebut. Drag adalah gaya berupa hambatan dari aliran pada suatu benda. Drag ini merupakan hambatan dari gesekan suatu benda dan hambatan ini dapat terjadi juga pada dinding pipa tempat mengalirnya fluida [6].

Jika diketahui ρ_∞ dan V_∞ sebagai densitas dan kecepatan pada aliran bebas, maka tekanan dinamis aliran bebas dapat dirumuskan dengan

Dynamic pressure :

$$q_\infty \equiv \frac{1}{2} \rho_\infty V_\infty^2 \quad (1)$$

Tekanan dinamis memiliki satuan layaknya tekanan yaitu N/m^2 . Selanjutnya, jika diketahui S adalah luas area referensi (m^2) dan l adalah panjang referensi (m), maka koefisien gaya drag dapat dirumuskan dengan :

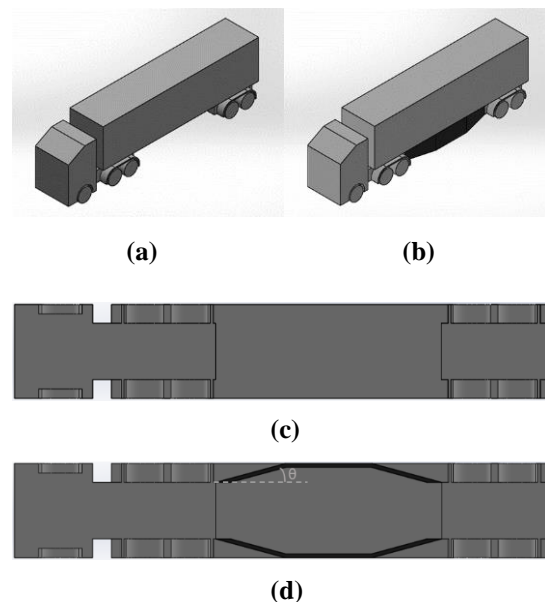
$$C_D \equiv \frac{D}{q_\infty S} \quad (2)$$

Shear stress, τ , ada di setiap titik pada suatu aliran yang terdapat gradien kecepatan. Pada kebanyakan kasus, *shear stress* lokal memiliki efek yang berarti pada aliran ketika gradien kecepatan bernilai besar. Untuk daerah berkecepatan tinggi, gradien kecepatan bernilai relatif kecil, dan efek *friction* tidak memainkan perannya. Pada daerah tipis pada aliran yang berdekatan dengan permukaan benda, gradien kecepatan yang terjadi bernilai besar, sehingga efek *friction* memainkan peran yang berarti.

3. Metode Penelitian

Pada penelitian ini, pengujian dilakukan dengan proses simulasi CFD dengan menggunakan software ANSYS 16.0. Adapun prosedur penelitian yang digunakan sebagai berikut :

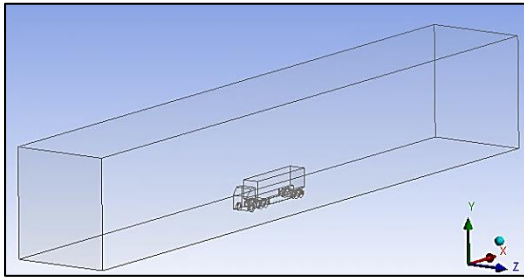
1. Menyiapkan model 3D truk-kontainer dan model *side skirts* yang akan digunakan dengan variasi sudut 0° , 15° , 30° , dan 45° .



Gambar 3. Model 3D Truk-Kontainer (a) Tanpa *Side Skirts*, (b) Dengan *Side Skirts*, (c) Pandangan Bawah Tanpa *Side Skirts*, (d) Pandangan Bawah Dengan *Side Skirts*

Model truk yang digunakan berbasis pada Truk komersial Trago Xcient, Hyundai dengan skala 1:50.

- Mengimport model truk-kontainer ke Ansys Fluent dan langsung melakukan proses enclosure untuk menentukan daerah batas relative penelitian terhadap model uji.



Gambar 4. Hasil Import dan Enclosure Model Truk-Kontainer

- Melakukan proses meshing, dimana pada proses ini menggunakan *Auto Generate Mesh* dengan beberapa perubahan level pada submenu *Sizing*.
- Menentukan model *viscous* yang akan digunakan, yaitu *standard k-epsilon*, dimana pada pengujian, variasi kecepatan relative udara V_∞ disetting dari 22-28 m/s dengan rentang Reynolds number $3,39 \times 10^5 \leq Re \leq 4,28 \times 10^5$.
- Menentukan *Boundary Conditions* dimana pada bidang *velocity-inlet* diinput kecepatan dengan variasi 22 m/s, 25 m/s, dan 28 m/s. Sedangkan pada bidang *pressure-outlet* diinput 0 Pa (gauge).
- Melakukan proses perhitungan iterasi, dimana nilai konvergensi disetting hingga $10e-04$.
- Melakukan *checking report* untuk mengetahui besar gaya drag dan koefisien drag yang dialami oleh model truk-kontainer.

4. Hasil dan Pembahasan

Dari hasil pengujian secara simulasi yang telah dilakukan maka didapatkan hasil berupa besar drag coefficient total yang dialami model-model truk-kontainer terhadap variasi kecepatan yang diberikan.

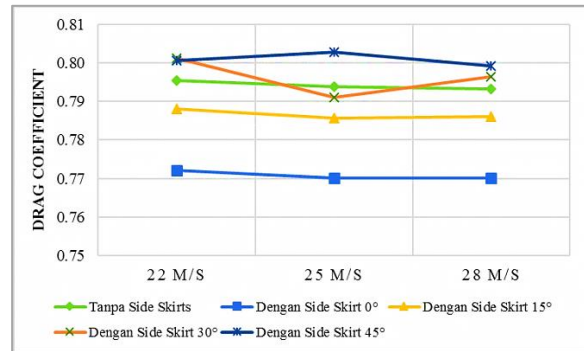
4.1 Hasil Pengujian Simulasi

Tabel 1. Nilai *Drag Coefficient* Tiap Model

No	Jenis Model	Drag Coefficient		
		22 m/s	25 m/s	28 m/s
1	Tanpa side skirt	0.7955	0.7938	0.7933
2	Dengan side skirt 0°	0.7721	0.7702	0.7702
3	Dengan side skirt 15°	0.7880	0.7856	0.7860
4	Dengan side skirt 30°	0.8012	0.7911	0.7963
5	Dengan side skirt 45°	0.8005	0.8027	0.7992

Grafik *Drag Coefficient* memperlihatkan trend yang relatif konstan, setiap jenis model truk-kontainer memiliki nilai CD yang hampir sama di setiap variasi kecepatan. Model truk-kontainer tanpa side skirts memiliki nilai CD sebesar 0.7938 sedangkan model truk-kontainer dengan side skirts sudut 0° memiliki

nilai CD sebesar 0.7702 sehingga drag reduction rate maksimum yang dapat diperoleh mencapai 0.0236 atau sebesar 3% pada kecepatan 25 m/s.



Gambar 5. Grafik *Drag Coefficient* Hasil Simulasi

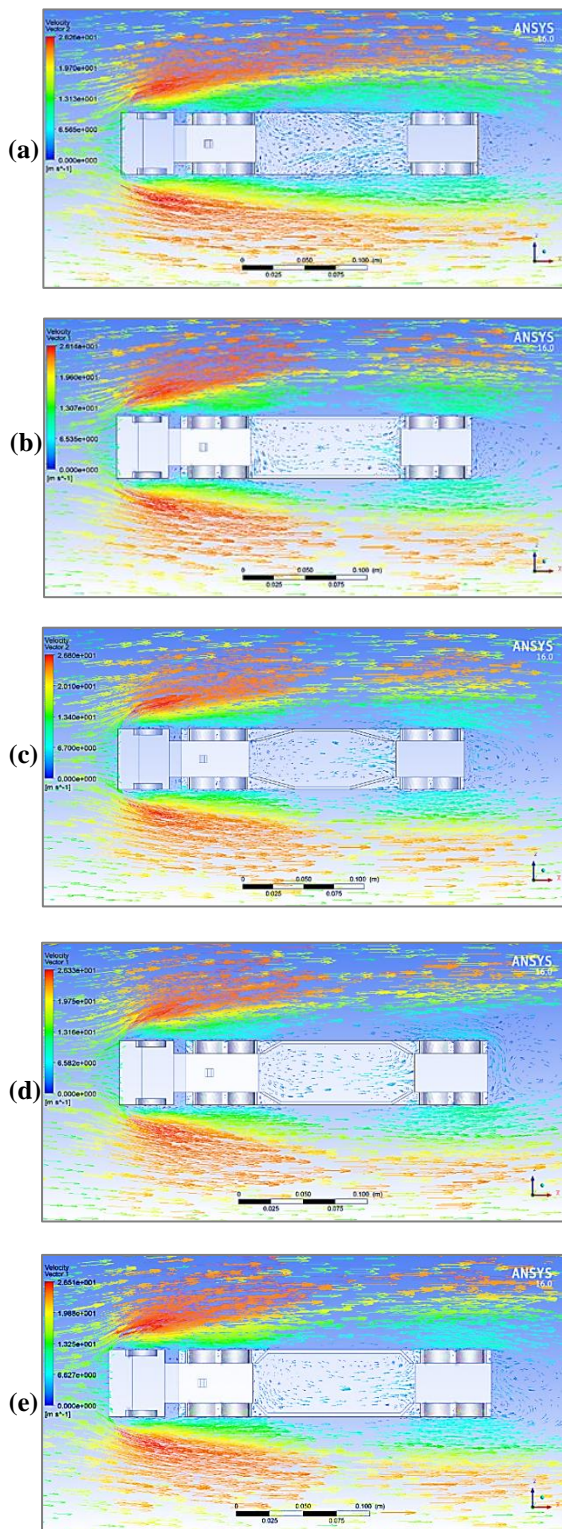
Model side skirts sudut 15° memiliki *drag reduction rate* maksimum sebesar 0.0082 atau sebesar 1% yang dapat dicapai pada kecepatan 25 m/s. Trend yang unik terjadi pada model side skirts sudut 30° dimana pada kecepatan 22 m/s dan 28 m/s terjadi peningkatan nilai CD masing-masing sebesar 0.0057 dan 0.0030, sedangkan pada kecepatan 25 m/s model side skirts sudut 30° memberikan kontribusi yang baik dengan capaian drag *reduction rate* sebesar 0.0027. Model side skirts sudut 45° tidak dapat memberikan efek drag reduction pada setiap variasi kecepatan karena terjadi peningkatan nilai CD, nilai CD maksimum yang dicapai sebesar 0.8027 pada kecepatan 25 m/s.

Selain data yang diperoleh dari proses simulasi, didapatkan pula hasil visualisasi 3D untuk menjelaskan fenomena yang terjadi pada model truk-kontainer. Dari pemodelan 3D yang telah dilakukan, didapatkan hasil visualisasi distribusi tekanan dan kecepatan.

Pada gambar 6 (a) yaitu hasil simulasi model truk-kontainer referensi, terjadi aliran udara acak yang membentuk vortex akibat masuknya aliran udara samping truk yang masuk ke bagian dalam clearance kontainer, hal ini menyebabkan terjadinya tambahan gaya drag pada konstruksi roda belakang truk-kontainer. Penambahan side skirts dapat berkontribusi untuk mencegah masuknya aliran udara di sekitar kontainer ke bagian dalam clearance.

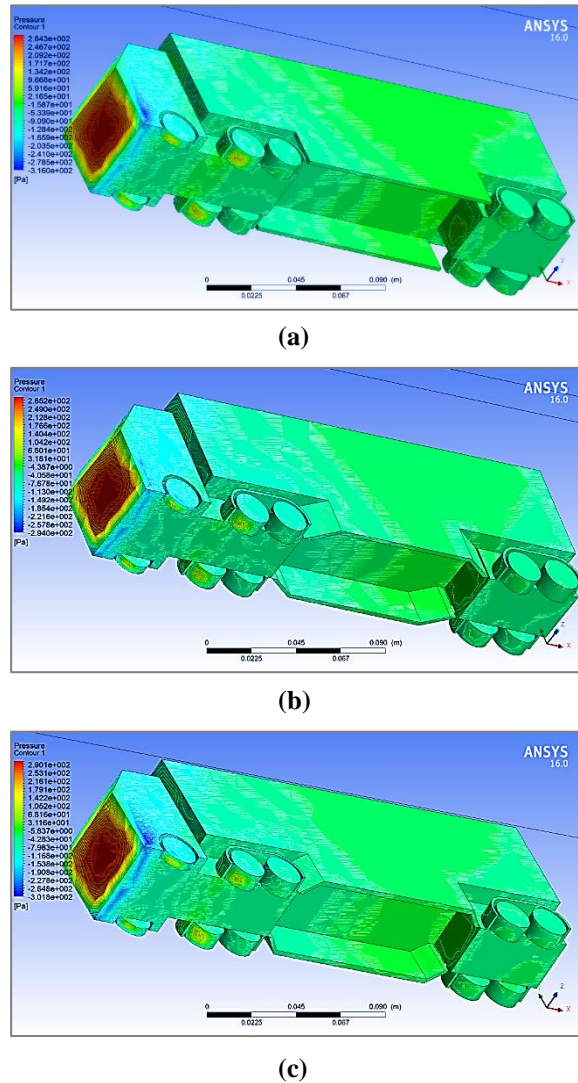
Hasil yang positif didapatkan dari pengujian model truk-kontainer dengan penambahan side skirts sudut 0° dan 15° (gambar 6 (b) dan 6 (c)) dimana kedua model tersebut dapat mencegah terjadinya vortex pada bagian dalam clearance kontainer. Begitu pula yang terjadi pada model truk-kontainer dengan penambahan side skirts sudut 30° dan 45° (gambar 6 (d) dan 6 (e)), namun penambahan sudut pada side skirts berpotensi merusak bentuk streamline pada sisi samping model truk-kontainer, seperti yang terlihat di gambar 6 (d), separasi terjadi sesaat setelah aliran udara berkontak dengan bagian depan side skirts. Hal

yang sama juga terjadi pada gambar 6 (e) dimana proses separasi terjadi lebih awal dibandingkan dengan model truk referensi sehingga terjadi peningkatan gaya drag.



Gambar 6. Visualisasi Distribusi Kecepatan pada Model Truk (a) Referensi, (b) Side Skirts 0°, (c) Sides Skirt 15°, (d) Side Skirts 30°, (e) Side Skirts 45°

Pernyataan mengenai penambahan sudut pada side skirts berpotensi merusak bentuk streamline pada sisi samping model truk-kontainer juga dapat didukung oleh visualisasi distribusi tekanan (*pressure contour*) yang tercantum pada gambar 4.6. Pada gambar 4.6 (c), (d), dan (e) terlihat bahwa penambahan sudut pada side skirts menyebabkan distribusi tekanan pada sisi samping truk-kontainer menjadi tidak merata.



Gambar 7. Visualisasi Distribusi Tekanan pada Model Truk (a) Side Skirts 0°, (b) Side Skirts 30°, (c) Side Skirts 45°

Terjadi penurunan tekanan pada sisi samping bagian belakang (area berwarna hijau toska), dimana terjadi peluasan area bertekanan rendah ketika sudut side skirts bertambah. Area bertekanan rendah ini mengindikasikan terjadinya proses separasi aliran udara, semakin luas area bertekanan rendah, maka proses separasi akan lebih cepat terjadi.

5. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa penambahan *aerodynamic devices*

berupa side skirts dapat berfungsi sebagai pencegah masuknya aliran udara luar ke bagian dalam *clearance* model truk-kontainer, sehingga mampu mereduksi gaya drag yang terjadi pada sektor konstruksi roda belakang model truk-kontainer dimana model dengan penambahan side skirts sudut 0° mampu memberikan reduksi gaya drag terbesar hingga 3% pada kecepatan 25 m/s.

Variasi sudut pada side skirts berpengaruh terhadap streamline aliran pada sisi samping model-truk kontainer, dimana peningkatan besar sudut side skirts dapat berpotensi mempercepat proses separasi aliran pada sisi samping model-truk kontainer yang akan berimbas pada peningkatan nilai gaya drag yang dialami.

Daftar Pustaka

- [1] Owen, Nick A., Oliver R. Inderwildi, David A. King, 2010, *The Status of Conventional World Oil Reserves – Hype or Cause for Concern?*. Energy Policy Pap. Vol. 38, pp. 4743–4749.
- [2] Wood, Richard M., 2003, *Aerodynamic Drag and Drag Reduction: Energy and Energy Savings*. AIAA Pap. 2003-0209.
- [3] Kim, J. Jae, Jeongju Kim, Sang Joon Lee, 2019, *Considerable Drag Reduction and Fuel Saving of A Tractor-Trailer Using Additive Aerodynamic Devices*, Elsevier Pap. 191 pp. 54-62.
- [4] Wood, Richard M., 2003, *Aerodynamic Drag and Drag Reduction: Energy and Energy Savings*. AIAA Pap. 2003-0209.
- [5] Parton, James, 1969, *The American Heritage Dictionary of the English Language*, First Edition, Houghton Mifflin, Boston, USA.
- [6] Anderson, Jr., Jhon D., 2010, *Fundamentals of Aerodynamics*, Fifth Edition, McGraw-Hill, New York, USA.



Faris Reynaldi menyelesaikan studi di SMA Negeri 1 Singaraja 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 dilakukan adalah mengenai Pengaruh Penambahan *Aerodynamic Devices* terhadap *Drag Coefficient* Kendaraan.

Analisis Perpindahan Panas *Heat Recovery System* yang Terintegrasi pada *Water-cooled Chiller*

Ida Bagus Oka Jeve, Made Sucipta dan Ketut Astawa

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Green building merujuk pada struktur dan proses aplikasi yang bertanggung jawab kepada lingkungan serta memanfaatkan sumber daya secara optimal selama siklus hidup bangunan berlangsung. Pemanfaatan kembali energi terbuang dapat dilakukan untuk memenuhi konsep *green building*. *Water-cooled chiller* bekerja dengan cara menyerap panas dalam suatu ruang dan melepaskannya menuju atmosfer. Pemanfaatan kembali energi yang terbuang dari proses kerja *water-cooled chiller* dapat dilakukan dengan cara mengintegrasikan *heat recovery system*, yakni suatu alat penukar panas yang memanfaatkan panas buang dari kompresor *chiller* untuk memanaskan air. Unit *water-cooled chiller* menggunakan kompresor tipe *screw* yang sudah terintegrasi *heat recovery system* pada sisi *discharge* kompresor memiliki spesifikasi *rate of heat recovery* sebesar 145 kW. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung *rate of heat recovery* dan temperatur refrigeran yang keluar dari *heat recovery* pada *water-cooled chiller* yang terintegrasi dengan *heat recovery system*. Penelitian dilakukan dengan pengambilan data pada setiap titik keadaan dari sistem *water-cooled chiller* selama 2 hari, diantaranya dari sisi kompresor dan *heat recovery*. Penelitian menghasilkan data perhitungan berupa rata-rata *rate of heat recovery* sebesar 80,92 kW (55,81%) dan rata-rata temperatur refrigeran yang keluar dari *heat recovery* adalah 49 °C.

Kata kunci: *Water-cooled chiller*, *Heat recovery system*, Temperatur refrigeran

Abstract

Green building refers to structure and process of applications that are environmentally responsible and optimally-used resources along the building's life cycle. Energy harvesting method can be used to fulfil the concept of green building. *Water-cooled chiller* works by releasing energy in the form of heat to the atmosphere. *Water-cooled chiller's* wasted energy can be harvested by utilising the integration of *heat recovery system*, a heat exchanger which transfers energy from the *chiller's* compressor to heat the water. The *water-cooled chiller* unit is integrated with *heat recovery system* at its screw type compressor's *discharge* side which its specification *rate of heat recovery* is at 145 kW. This research conducts the *rate of heat recovery* and *heat recovery's* refrigerant outlet temperature calculations from *water-cooled chiller* that is already integrated with *heat recovery system*. The research is conducted by gathering data from every *water-cooled chiller* systems' points of condition like compressor and *heat recovery* for 2 days. This research results calculation data like the average *rate of heat recovery* at 80.92 kW (55.81%) and the average *heat recovery's* refrigerant outlet temperature at 49 °C.

Keywords: *Water-cooled chiller*, *Heat recovery system*, Refrigerant temperature

1. Pendahuluan

Chiller adalah mesin pengkondisi udara pendingin ruangan yang biasanya bekerja dengan cara menyerap panas air untuk mendinginkan suatu ruang dan melepas panas tersebut menuju atmosfer. *Chiller* umum diterapkan pada daerah dengan kondisi udara yang panas dan lembab. *Chiller* dapat dijumpai pada pusat perbelanjaan, perkantoran dan perhotelan. *Chiller* digunakan berdasarkan pertimbangan seperti kemudahan perawatan sistem pengkondisi dalam udara skala besar dan perhitungan investasi jangka panjang. *Chiller* berbasis *water-cooled chiller* dalam keadaan normal melepas panas pada air di dalam kondensor dan panas tersebut kemudian dilepaskan menuju atmosfer menggunakan *cooling tower* [1]. Sebagian panas yang akan dilepaskan dapat dimanfaatkan kembali dengan integrasi *heat recovery system* pada unit *water-cooled chiller* untuk menghasilkan air panas sebagai *by-product chiller* tersebut.

Studi mengenai *water-cooled chiller* sudah dilakukan untuk menginvestigasi bagaimana kombinasi berbeda dari komponen-komponen sistem

mempengaruhi *coefficient of performance* (COP) sistem [2]. Hasil studi tersebut memberikan informasi bahwa COP sistem optimal dapat diperoleh melalui pengoperasian *chiller*, *cooling tower* serta pompa *chilled water* dan kondensor dengan jumlah yang sama. Analisa intensitas energi operasional sistem AC sentral menggunakan *water-cooled chiller* dengan metode dekomposisi menginformasikan bahwa *chiller* memerlukan energi dalam proporsi terbesar jika dibandingkan dengan komponen sistem lainnya [3]. Penelitian tentang analisa performa kombinasi dari kondensator dan *heat recovery system* juga pernah dilakukan pada *water-cooled chiller* melalui simulasi menggunakan Simulink [4].

Terdapat unit *Water-cooled chiller* dengan kapasitas 275 TR (972 kW) yang terintegrasi *heat recovery system*. *Heat recovery system* yang terintegrasi pada *chiller* tidak memiliki alat ukur untuk mengetahui temperatur refrigeran yang keluar dari unit *heat recovery*. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui temperatur refrigeran yang keluar dari *heat recovery*

menggunakan diagram tekanan terhadap entalpi (P-h) refrigeran R410A.

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

1. Bagaimana *rate of heat recovery* pada *water-cooled chiller* dengan kapasitas pendinginan spesifikasi 972 kW yang terintegrasi *heat recovery system*.
2. Bagaimana temperatur refrigeran keluar *heat recovery* pada *water-cooled chiller* dengan kapasitas pendinginan spesifikasi 972 kW.

Beberapa batasan ditetapkan dalam penelitian ini meliputi:

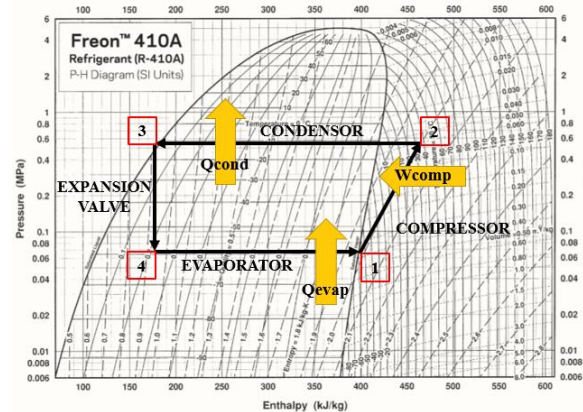
1. Unit *water-cooled chiller* yang diuji sesuai dengan yang terpasang setelah dilakukan *commissioning*.
2. Data operasional *chiller* berdasarkan data yang telah disediakan.

2. Dasar Teori

Refrigerasi adalah proses pendinginan artifisial sebuah ruangan, substansi atau sistem untuk menurunkan dan/atau menjaga temperatur tetap dibawah *ambient temperature* ketika panas yang dibuang memiliki temperatur yang lebih tinggi. Panas dibuang dari reservoir yang memiliki temperatur rendah dan ditransfer menuju reservoir yang memiliki temperatur tinggi. Refrigerasi memiliki beberapa jenis aplikasi seperti kulkas, *freezer* industri, kriogenika dan *Air Conditioner* (AC). Refrigerasi bekerja menggunakan media perpindahan panas refrigeran yang berupa substansi atau campuran dalam wujud fluida. Refrigerasi berdasarkan metode yang digunakan dapat diklasifikasikan menjadi refrigerasi termoelektrik, magnetik, non-siklik dan refrigerasi siklik [5]. Refrigerasi siklik menerapkan siklus termodinamika dengan cara memberikan *external work* untuk menyerap panas dari ruang bertemperatur rendah dan membuangnya menuju ruang bertemperatur lebih tinggi. Hal tersebut dapat terjadi karena pemanfaatan perubahan fase refrigeran dari fase liquid menjadi fase gas dan sebaliknya. Refrigerasi siklik dapat menggunakan siklus gas atau siklus uap. Siklus refrigerasi uap terdiri dari *sorption refrigeration* dan siklus refrigerasi kompresi uap.

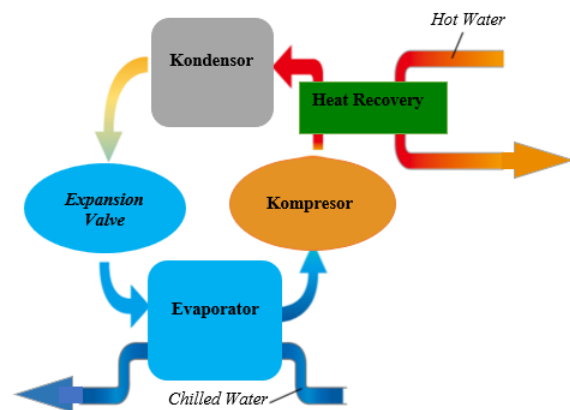
Siklus refrigerasi kompresi uap standar dapat dilihat pada Gambar 1 yang menggunakan diagram tekanan terhadap entalpi. Proses 1-2 merupakan proses kompresi isentropis, refrigeran pada keadaan 1 fase uap jenuh bertekanan rendah dikompresi (dengan memberikan input daya pada kompresor) untuk menghasilkan refrigeran panas lanjut bertekanan tinggi pada keadaan 2. Proses ini diperlukan untuk meningkatkan temperatur refrigeran lebih tinggi dari media penyerap panas (air atau udara) supaya proses pelepasan panas pada kondensor dapat berlangsung. Proses 2-3 adalah proses pelepasan panas dengan tekanan konstan yang menyebabkan refrigeran fase panas lanjut mengalami penurunan temperatur dan menjadi fase cair jenuh

bertekanan tinggi pada keadaan 3. Siklus refrigerasi dapat bekerja dengan baik apabila energi yang mampu dilepaskan kondensor minimal sejumlah panas yang diserap evaporator dan daya yang diberikan pada kompresor (W_{comp}). Proses 3-4 adalah proses *throttling* untuk menurunkan tekanan sehingga menghasilkan refrigeran dengan fase campuran bertekanan rendah pada keadaan 4. Proses ini diperlukan untuk memperoleh refrigeran dengan temperatur rendah supaya proses penyerapan panas pada evaporator dapat terjadi [6]. Proses 4-1 merupakan proses penyerapan panas pada tekanan konstan yang menghasilkan refrigeran keadaan 1 untuk dikompresikan kembali sehingga terbentuk siklus refrigerasi.



Gambar 1. Diagram P-h siklus refrigerasi kompresi uap standar (www.freon.com/en/products/refrigerants/410a)

Heat exchanger tipe *plate* dengan aliran *cross flow* terintegrasi pada sisi *discharge* kompresor digunakan untuk mentransfer panas dari uap refrigeran menuju air. Air panas kemudian dimanfaatkan sebagai tambahan suplai menuju kamar hotel. Skematik integrasi *heat recovery* pada *chiller* terlihat seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Skematik unit *chiller* dengan *heat recovery*

Persamaan laju perpindahan panas secara umum dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$q = \dot{V} \rho c_p \Delta T \quad (W) \quad (1)$$

q = Laju perpindahan panas (W)
 \dot{V} = Debit air (m^3/s)
 ρ = Massa jenis air (kg/m^3)
 c_p = Kalor spesifik air pada tekanan konstan (J/Kg K)
 ΔT = Selisih temperatur air dalam positif absolut (K)

3. Metode Penelitian

Pengambilan data operasional *chiller* dilakukan selama 2 hari setiap pukul 06:00, 14:00 dan 22:00. Periode tersebut dipilih sebagai perwakilan data kinerja selama 1 hari.

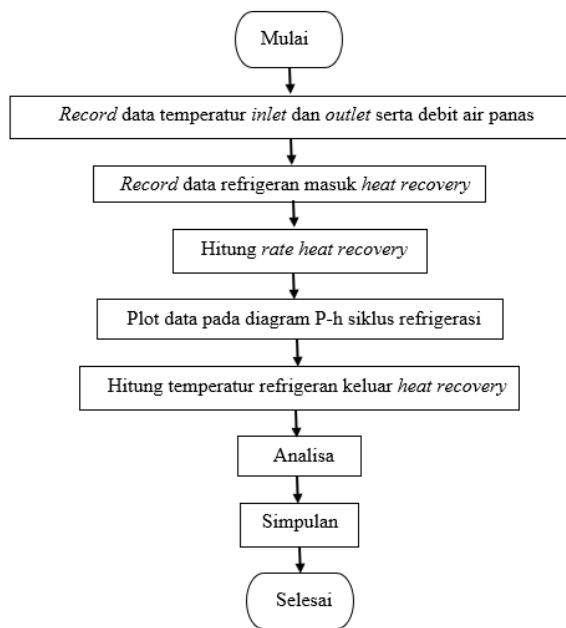
3.1 Alat

Penelitian ini mempergunakan peralatan sebagai berikut.

1. Sistem pendingin yang sudah terpasang.
2. Termokopel untuk mengukur temperatur air panas.
3. *Ultrasonic flow meter* untuk mengukur debit air panas.

3.2 Diagram alir penelitian

Tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.



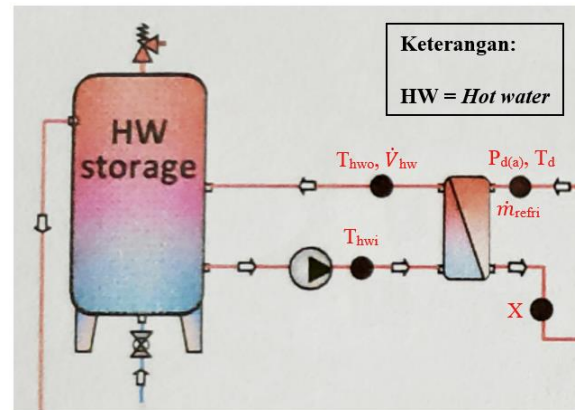
Gambar 3. Diagram alir penelitian

3.3 Instalasi unit *chiller* penelitian

Gambar 4 dan 5 berturut-turut menunjukkan gambar aktual dan skematik unit *chiller*.



Gambar 4. Foto aktual unit *chiller*



Gambar 5. Skematik unit *chiller*

Keterangan titik pengambilan data:

1. Temperatur *outlet* air panas (T_{hwo})
2. Temperatur *inlet* air panas (T_{hwi})
3. Debit air panas (\dot{V}_{hw})
4. *Compressor's absolute discharge pressure* ($P_{d(a)}$)
5. *Compressor's discharge temperature* (T_d)
6. *Refrigerant's mass flow rate* (\dot{m}_{refri})

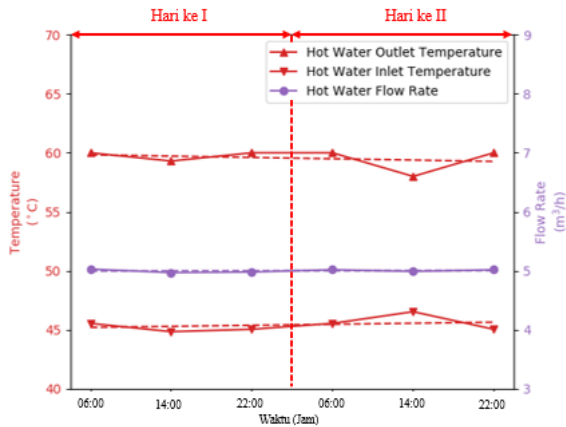
4. Hasil dan Pembahasan

Data pengoperasian yang sudah dicatat terlihat seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Data pengoperasian

NO	ITEM	UNIT	Hari ke I (Jam)			Hari ke II (Jam)			Rata-rata
			06:00	14:00	22:00	06:00	14:00	22:00	
1	T_{hwo}	$^{\circ}C$	60,0	59,3	60,0	60,0	58,0	60,0	59,6
2	T_{hwi}	$^{\circ}C$	45,6	44,9	45,1	45,6	46,5	45,1	45,4
3	\dot{V}_{hw}	m^3/h	5,12	5,07	4,98	5,10	4,99	5,05	5,00
4	$P_{d(a)}$	MPa	2,20	2,22	2,20	2,32	2,18	2,40	2,25
5	T_d	$^{\circ}C$	68	67	70	68	62	69	67,33
6	\dot{m}_{refri}	Kg/s	3,03	3,06	2,44	3,8	4,12	3,92	3,40

Data temperatur *outlet* air panas (T_{hwi}), temperatur *inlet* air panas (T_{hwo}) dan debit air panas (\dot{V}_{hw}) diplotkan seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik visualisasi data air panas

Heat recovery system menghasilkan air panas dengan temperatur rata-rata sebesar 59,6 °C. Semua nilai T_{hwo} yang dihasilkan tersebar mendekati temperatur 60 °C, kecuali T_{hwo} pada pukul 14:00 hari kedua yang memiliki temperatur sebesar 58 °C. Nilai T_{hwi} yang diterima pada periode tersebut lebih tinggi karena penggunaan air panas lebih rendah, tetapi T_{hwo} yang dihasilkan rendah karena panas dari sisi discharge kompresor juga bertemperatur lebih rendah.

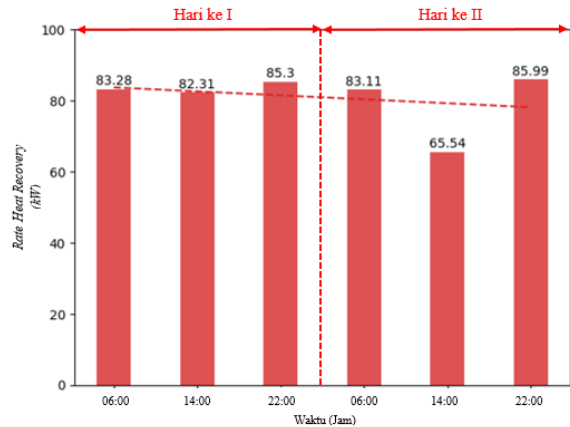
Temperatur inlet air panas diterima heat recovery dengan rata-rata sebesar 45,4 °C. Nilai T_{hwi} paling besar tercatat pada pukul 14:00 hari kedua sebesar 46,5 °C. Besar nilai T_{hwi} merupakan indikator untuk mengetahui tingkat penggunaan air panas, nilai T_{hwi} rendah terjadi karena penggunaan air panas lebih besar.

Hasil perhitungan menggunakan data air panas dapat dilihat pada Tabel 2. Massa jenis air panas (ρ_{hw}) dan kalor spesifik pada tekanan konstan ($c_{p,hw}$) diperoleh menggunakan tabel thermophysical properties of saturated water [7]. Perhitungan dilakukan dengan asumsi pengambilan data dalam keadaan steady-state.

Tabel 2. Data hasil perhitungan

NO	ITEM	UNIT	Hari ke I (Jam)			Hari ke II (Jam)			Rata-rata
			06:00	14:00	22:00	06:00	14:00	22:00	
1	T_{hwo}	K	333,00	332,30	333,00	333,00	331,00	333,00	332,6
2	T_{hwi}	K	318,60	317,85	318,05	318,55	319,54	318,05	318,40
3	ΔT	K	14,45	14,45	14,95	14,45	11,46	14,95	14,12
4	T rata-rata	K	325,78	325,08	325,53	325,78	325,27	325,53	325,49
5	ρ_{hw}	kg/m ³	986,31	986,65	986,43	986,31	986,55	986,43	986,45
6	$c_{p,hw}$	kJ/kgK	4,182	4,182	4,182	4,182	4,182	4,182	4,182
7	q_{hw}	kW	83,28	82,31	85,3	83,11	65,54	85,99	80,92

Visualisasi data rate of heat recovery (q_{hw}) dari Tabel 2 dapat dilihat seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil perhitungan rate of heat recovery

Rate of heat recovery yang telah dihitung memiliki rata-rata sebesar 80,92 kW. Nilai q_{hw} terkecil terdapat pada pukul 14:00 hari kedua sebesar 65,54 kW yang diakibatkan oleh kecilnya tingkat penggunaan air panas yang membuat T_{hwi} lebih tinggi. Nilai T_{hwi} yang tinggi mengakibatkan kemampuan penerimaan panas air tidak maksimal sehingga nilai ΔT menjadi kecil. Hal tersebut sesuai dengan Persamaan 2.5 yang digunakan untuk proses perhitungan, bahwa penurunan perubahan temperatur hot water pada kecepatan aliran yang sama akan memperkecil rate of heat recovery. Penggunaan air panas yang rendah juga mengakibatkan q_{hw} lebih rendah dari q_{hw} spesifikasi pabrik sebesar 145 kW.

Data pada pukul 06:00 hari pertama digunakan sebagai contoh pengerjaan untuk proses pengolahan grafik menggunakan diagram P-h untuk refrigeran R410A dengan tahapan berikut.

1. Mencari nilai entalpi spesifik refrigeran sisi discharge (h_d) kompresor pada diagram P-h untuk refrigeran R410A.

Input: $P_{d(a)} = 2,20$ MPa; $T_d = 68$ °C

Output: $h_d = 473$ kJ/kg

2. Menghitung nilai entalpi spesifik refrigeran pada outlet heat recovery (h_x) serta menentukan letak dan temperaturnya (T_x) pada diagram P-h untuk refrigeran R410A.

Input: $h_d = 473$ kJ/kg; $\dot{m}_{refri} = 3,03$ kg/s;

$q_{hw} = 83,28$ kW; $P_{d(a)} = 2,20$ MPa

Proses: $q_{hw} = \dot{m}_{refri} \cdot (h_d - h_x)$

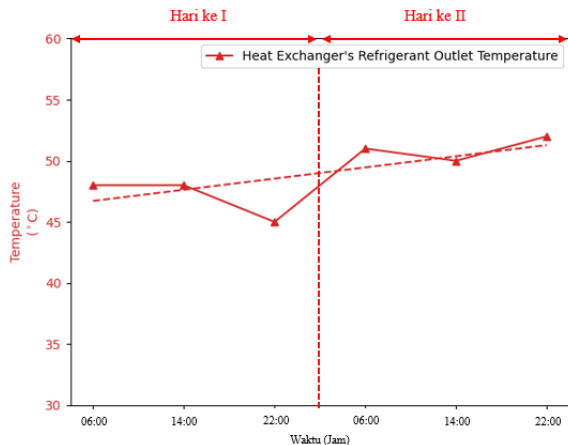
Output: $h_x = 446$ kJ/kg; $T_x = 48$ °C

Rate of heat recovery pada sisi refrigeran dan air dianggap sama karena memiliki heat loss sangat kecil yang dapat diabaikan [4].

Tabel 3. Data hasil pengolahan grafik

NO	ITEM	UNIT	Hari ke I (Jam)			Hari ke II (Jam)			Rata-rata
			06:00	14:00	22:00	06:00	14:00	22:00	
1	h_d	kJ/kg	473	470	474	470	463	468	470
2	h_x	kJ/kg	446	443	439	448	447	446	445
3	T_x	°C	48	48	45	51	50	52	49

Data temperatur refrigeran keluar heat recovery (T_x) pada Tabel 3 divisualisasikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Visualisasi data temperatur refrigeran keluar *heat recovery*

Data temperatur refrigeran yang keluar dari *heat recovery* (T_x) dengan nilai antara 45 °C dan 52 °C memiliki nilai rata-rata sebesar 49 °C. Nilai T_x pada hari kedua sedikit lebih besar karena memiliki laju alir massa refrigeran (\dot{m}_{refri}) yang lebih besar. Kecilnya tingkat penggunaan air panas pada saat pengambilan data mengakibatkan semua data T_x masih dalam keadaan uap panas lanjut yang masih memiliki potensi energi untuk dimanfaatkan kembali.

5. Simpulan

Simpulan yang dapat diambil dari pembahasan sebelumnya adalah sebagai berikut.

1. Integrasi *heat recovery system* pada *water-cooled chiller* dengan spesifikasi *rate of heat recovery* sebesar 145 kW memiliki nilai rata-rata operasional 80,92 kW atau 55,81% dari kemampuan operasional maksimal.
2. *Heat recovery* mentransfer panas dari refrigeran menuju air sehingga memiliki nilai rata-rata temperatur refrigeran yang keluar dari *heat recovery* sebesar 49 °C.

Daftar Pustaka

- [1] Arora C. P., 2000, *Refrigeration and Air Conditioning*, New Delhi, Tata McGraw-Hill.
- [2] Yu F. W., & Ho W. T., 2019, *Analysis of Chiller System Performance with Different Component Combinations*. Applied Thermal Engineering, doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng>, 2019.03.113.
- [3] Liu L.-r., Gu J.-j., & Liu J., 2015, *Analysis of Operational Energy Intensity for Central Air Conditioning System with Water-cooled Chiller by Decomposition Method*. Energy and Buildings, doi: <http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.enbuild>.

2015.01.064.

- [4] Gong G., Chen F., Su H., & Zhou J., 2012, *Thermodynamic Simulation of Condensation Heat Recovery Characteristics of a Single Stage Centrifugal Chiller in a Hotel*. Applied Energy, doi: 10.1016/j.apenergy.2011.08.007.
- [5] Dossat R., 2001, *Principles of Refrigeration, 5th Edition*, London: Pearson.
- [6] ASHRAE, 2013, *ASHRAE Handbook Fundamentals*, SI Edition, Atlanta, ASHRAE.
- [7] Bergman T. L., Lavine A. S., Incropera F. P., & Dewitt D. P., 2011, *Introduction to Heat Transfer*, Sixth Edition, Jefferson, John Wiley & Sons, Inc.



Ida Bagus Oka Jeve menyelesaikan studi SMA di SMAN 99 Jakarta, pada tahun 2015, kemudian melanjutkan program sarjana di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana pada tahun 2015.

Pengaruh Resin Akrilik Terhadap Kekuatan Tarik Biokomposit Berpenguat Ampas Tebu

Anak Agung Gede Aditya Putra, Cok Istri Putri Kusuma, Dewa Ngakan Ketut Putra Negara

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Indonesia memiliki beraneka ragam tanaman alam yang dapat digunakan material struktur biokomposit, salah satunya tebu. Tebu memiliki nilai serat yang cukup tinggi dan mudah didapatkan, maka penelitian ini dapat dilakukan untuk menganalisis karakteristik, kekuatan bending (ASTM D790) dan tarik (ASTM D638-03) dari biokomposit berpenguat ampas tebu dengan perlakuan variasi (5% ampas tebu 95% resin akrilik, 10% ampas tebu 90% resin akrilik, 15% ampas tebu 85% resin akrilik, dan 20% ampas tebu 80% resin akrilik). Dari hasil pengujian kekuatan tarik terbaik pada variasi 10% memiliki nilai kekuatan tarik paling tinggi. Dimana nilai tahanan tarik sebesar 15,605 Mpa, nilai regangan tarik sebesar 0,095, dan nilai modulus elastisitas sebesar 9,535Gpa. Pada hasil uji bending menunjukkan bahwa semakin banyak persentase ampas tebu yang di tambah kedalam biokomposit resin akrilik dan ampas tebu maka kekuatan bending semakin tinggi, sedangkan hasil struktur mikro pada variasi 10% memiliki hasil yang tersusun rapi pada biokomposit.

Abstract

Indonesia has a wide variety of natural plants that can be used for biocomposite structural materials, one of which is sugarcane. Sugarcane has a high fiber value and is easy to obtain, so this research can be conducted to analyze the characteristics, bending strength (ASTM D790) and tensile strength (ASTM D638-03) of bagasse reinforced biocomposite with variation treatment (5% bagasse 95% resin. acrylic, 10% bagasse 90% acrylic resin, 15% bagasse 85% acrylic resin, and 20% bagasse 80% acrylic resin). From the results of the best tensile strength test at 10% variation has the highest tensile strength value. Where the tensile stress value is 15.605 Mpa, the tensile stress value is 0.095, and the elastic modulus value is 9.535Gpa. The results of the bending test showed that the higher the percentage of bagasse added to the acrylic resin and bagasse biocomposite, the higher the bending strength, while the microstructure results at 10% variation had neatly arranged results on the biocomposite.

Key words: Bagasse biocomposite, acrylic resin.

1. Pendahuluan

Indonesia yang terkenal dengan sumber daya alamnya, memiliki beraneka ragam tanaman alam yang dapat digunakan sebagai material penyusun struktur komposit contohnya ampas tebu pemanfaatan ampas tebu yang tidak maksimal dapat mempengaruhi tercemarnya lingkungan seperti menumpuknya limbah ampas tebu sehingga menimbulkan bau tidak sedap.

Bio komposit yang berasal dari bahan alam selain ramah lingkungan juga dapat mungurangi kerusakan lingkungan karena menggunakan bahan - bahan alam. Komposit pada umumnya tersusun dari material pengikat (matrik) dan material penguat disebut material pengisi (variasi). Komposit memiliki karakteristik kuat, tidak korosi, ringan, dan mampu bersaing dengan logam [1]. Dalam penelitian ini ampas tebu telah dicoba sebagai pengganti serat sintetis seperti Kevlar-49, carbon/graphite, boron, aluminium oxide, silicone carbide, dan serat gelas. Ampas tebu sebagai pengganti serat sintetis adalah

salah satu langkah bijak dalam menyelamatkan kelestarian lingkungan dari limbah yang dihasilkan dan keterbatasan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui [2]

Limbah ampas tebu memiliki nilai ekonomis cukup tinggi, murah, mudah didapat, tidak membahayakan kesehatan, (Biodegradability) dapat terdegradasi secara alami sehingga nantinya dengan pemanfaatan sebagai serat penguat komposit dan memiliki sifat mekanik yang baik untuk dijadikan bahan baku komposit [3]. Penelitian ini diharapkan adanya inovasi baru dalam pengembangan teknologi material komposit berpenguat serat non sintetis di Indonesia. Selama ini industri masih menggunakan serat sintetis sebagai serat penguat material komposit. Oleh karena itu ampas tebu dapat dijadikan alternative bahan baku.

Penelitian ini akan menggunakan ampas tebu 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 diperoleh. Melihat permasalahan 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 tarik dan bending terhadap komposit yang berbahan utama filler dari ampas tebu dan akrilik, dan penelitian ini dalam hal ini ada beberapa permasalahan penelitian yang akan dikaji, yaitu:

Bagaimana kekuatan mekanik biokomposit ampas tebu dengan matrik akrilik dengan pengujian tarik dan bending, dan bagaimana karakteristik morfologi biokomposit ampas tebu dengan resin akrilik?

Agar penelitian ini terarah maka penulisan perlu membatasi masalah. Adapun batasan-batasan masalah dari penelitian ini yaitu:

Jenis tebu (*Saccharum officinarum*) yang digunakan untuk komposit diasumsikan sama yaitu varietas PS 864 yang ditanam dikediri, Jawa Timur, dan umur panen tebu dalam waktu 6 bulan. Setelah itu resin akrilik digunakan sebagai matrik, dalam penelitian ini menggunakan metode hand lay-up cara pengerjaannya, pada beban tekan saat pencetakan panel komposit diasumsikan sama.

2. Dasar Teori

2.1 Komposit

Komposit adalah suatu material yang dibentuk dari dua kombinasi atau lebih material pembentuknya melalui tidak homogen dimana sifat mekanik dari masing – masing material pembentuknya berbeda. Komposit merupakan sejumlah sistem multi fasa sifat dengan gabungan, gabungan antara bahan matriks dan penguat [4]. Pada umumnya komposit dibentuk dari dua jenis material yang berbeda yaitu matriks dan penguat

2.2 Kelebihan Komposit

Komposit mempunyai sifat mekanik dan fisika yang banyak di antaranya.

1. Bahan komposit mempunyai berat yang jauh lebih rendah dibandingkan bahan konvensional.
2. Gabungan bahan dasar dan penguat dapat menghasilkan komposit yang mempunyai kekuatan lebih tinggi dari bahan dasar.
3. Bahan komposit juga mempunyai kelebihan dari segala guna.
4. Bahan komposit tahan terhadap kikisan.

2.3. Ampas tebu

Secara morfologi Tanaman tebu atau *Saccharum officinarum* yang termasuk dalam family *gramineae* atau kelompok rumput – rumputan. Tebu dapat dibagi menjadi empat bagian yaitu akar, batang, daun dan bunga. Batang tebu tumbuk tegak,

tidak bercabang dan memiliki tinggi kurus. Tinggi tebu bisa mencapai 5 meter atau lebih. Bunga tebu yaitu bunga majemuk yang berbentuk terurai dipuncak poros gelagah sedangkan akarnya berbetuk serabut.

Tabel 1. Komponen Ampas Tebu

Material	Nama Bahan (%)			
	Sulosa	Pentosan	Lignin	Lain-lain
Ampas Tebu	45	32	18	5

Sumber: BPPT, mataram 2002: Penebar Swadaya, 2000

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. Selain itu, matriks juga berfungsi sebagai pelapis serat. Umumnya matriks terbuat dari bahan-bahan lunak dan liat

Sebagai bahan penyusun utama dari komposit, matriks harus mengikat penguat (serat) secara optimal agar beban yang diterima dapat diteruskan secara optimal oleh serat secara maksimal, sehingga diperoleh kekuatan yang tinggi. Pada dasarnya, matriks dalam komposit berfungsi untuk :

1. Melindungi dari pengaruh lingkungan yang merugikan.
2. Mencegah permukaan serat dari gesekan mekanik.
3. Memegang dan mempertahankan posisi agar serat tetap pada posisinya.
4. Mendistribusikan sifat-sifat tertentu bagi komposit, yaitu : kekuatan, ketangguhan dan ketahanan panas.

2.5. 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. Kata "resin" telah diterapkan dalam dunia modern untuk hampir semua komponen dari cairan yang akan ditetapkan menjadi lacquer keras atau enamel-seperti barang jadi. Contohnya adalah cat kuku, sebuah produk modern yang berisi "resin" yang merupakan senyawa organik, tetapi resin tanaman tidak klasik. Tentunya "pengecoran resin" dan resin sintetis (seperti epoxy resin) juga telah diberi nama "resin" karena mereka memperkuat

dengan cara yang sama seperti beberapa resin tanaman, tetapi resin sintesis monomer cair thermosetting plastik, dan tidak berasal dari tanaman

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*). Aqua artinya air, destila artinya penyulingan. Jadi aquades adalah air mineral hasil penyulingan. Hasil dari penyulingan ini yang kita sebut aquades. Metode yang digunakan untuk memperoleh aquades adalah destilasi (penyulingan). Destilasi adalah proses pemisahan campuran kimia menjadi komponen-komponennya dengan cara dipanaskan hingga mencapai titik didihnya, kemudian uapnya didinginkan hingga menjadi cair kembali.

2.7 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.

Uji Tarik merupakan salah satu pengujian untuk mengetahui sifat-sifat suatu bahan. Dengan menarik suatu bahan kita akan segera mengetahui bagaimana bahan tersebut bereaksi terhadap tenaga tarikan dan mengetahui sejauh mana material itu bertambah panjang. Alat eksperimen untuk uji tarik ini harus memiliki cengkeraman (*grip*) yang kuat dan kekakuan yang tinggi (*highly stiff*)

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

Tegangan Tarik

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

dimana :

σ = kekuatan tarik (MPa)

P = beban tarik maksimum (N)

A₀ = luas penampang sesaat (mm²)

Regangan Tarik

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

dimana :

ϵ = regangan maksimum (mm/mm) ; (%)

l₁ = panjang akhir (mm)

l₀ = panjang awal (mm)

Modulus Elastisitas

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

Dimana :

E = modulus elastisitas (GPa)

σ = tegangan (MPa)

ϵ = regangan

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.

Kekuatan bending pada sisi bagian atas sama nilai dengan kekuatan bending pada sisi bagian bawah. Pengujian dilakukan *three point bending*. (5)

Rumus Menghitung Tegangan bending, Regangan Bending, Modulus Elastisitas Tegangan Bending

$$\sigma_L = \frac{3 P.L}{2b.d^2} \quad (4)$$

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

$$\epsilon_L = \frac{6\delta.d}{L^2} \quad (5)$$

Dimana :

ϵ_L = Regangan Bending

δ = Defleksi Benda Uji (mm)

L = Support Span

d = Tebal benda Uji

Modulus elastisitas

$$\epsilon_L = \frac{l^3.m}{4b.d^3} \quad (6)$$

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

3.2 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

3.3 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

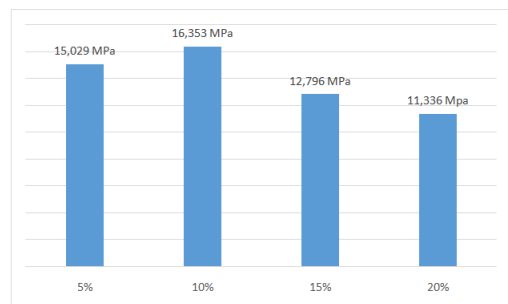
Pengujian kekuatan tarik pada biokomposit ampas tebu dilakukan di Lab. metalurgi Universitas udayana. Alat yang digunakan untuk uji bending yaitu alat uji mekanik tensilon RTG 1250 dengan

menggunakan ASTM D790 dan uji tarik RTG 1250 dengan menggunakan ASTM D368-03

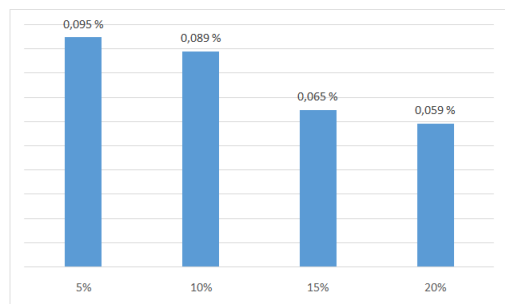
Hasil dari proses pengujian yang dilakukan yaitu dalam bentuk excel yang berisi data beban x elongasi dari masing-masing spesimen dan telah diperoleh tegangan tarik, regangan tarik, dan modulus elastisitas tarik. Data yang diperoleh tersebut bisa juga kita hitung menggunakan rumus.

4.1 Pembahasan Hasil Uji Tarik Biokomposit Ampas Tebu

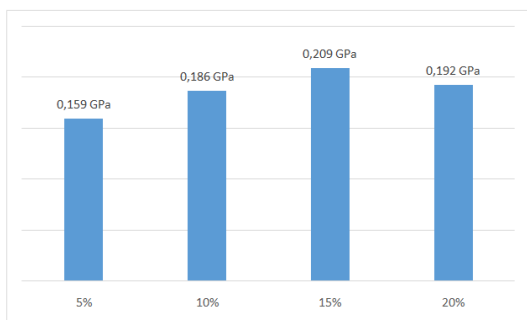
Variasi persentase pada biokomposit ampas tebu dapat mempengaruhi hasil dari tegangan tarik, regangan tarik, dan modulus elastisitas tarik yang diperoleh adapun penjelasan dari hasil pengujian tarik pada biokomposit ampas tebu dengan variasi yaitu sebagai berikut.



Gambar 1. Grafik Batang Kekuatan Tarik



Gambar 2. Grafik Batang Regangan Tarik



Gambar 3. Grafik Tegangan Modulus Elastisitas

Dari gambar grafik pengujian tarik komposit serat tebu nilai tegangan tarik komposit, mengalami perubahan konsentrasi. Kekuatan tarik pada variasi 5% sebesar 15,029 MPa, pada 10% sebesar 16,353 MPa, pada 15% sebesar 12,796 Mpa, dan pada

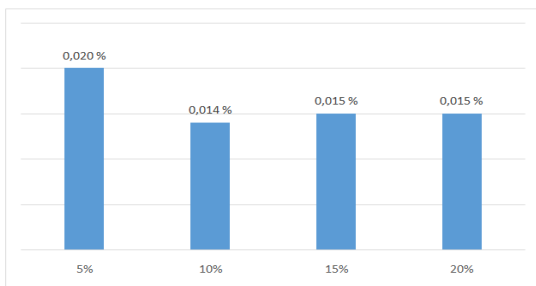
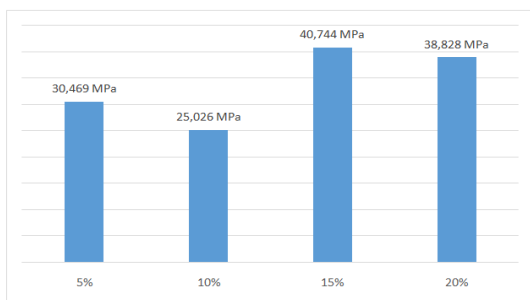
variasi 20% sebesar 11,336 MPa hal tersebut disebabkan terhadap serat tebu yang akan mempengaruhi tegangan specimen.

Pada gambar grafik regangan tarik mengalami penurunan dari hasil nilai regangan tarik variasi 5% sebesar 0,095%, pada variasi 10% sebesar 0,089%, pada 15% sebesar 0,065%, dan pada variasi 20% sebesar 0,059% besarnya regangan tarik menunjukkan kemampuan benda untuk berubah bentuk. Penurunan tegangan tarik disebabkan kuatnya ikatan resin akrilik dengan serat ampas tebu.

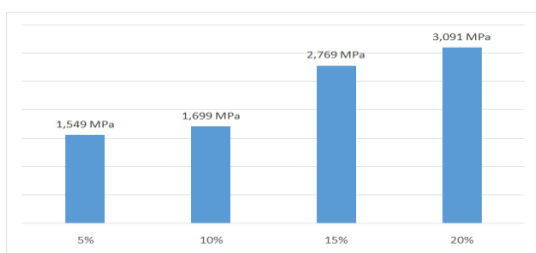
Gambar grafik modulus elastisitas pada fraksi volume 5% sebesar 0,159 GPa, pada variasi 10% sebesar 0,186 GPa, pada variasi 15% sebesar 0,209 GPa, sedangkan pada variasi 20% sebesar 0,192 GPa.

4.2. Data Hasil Pengujian Bending Biokomposit Ampas Tebu

Hasil dari proses pengujian yang dilakukan yaitu dalam bentuk excel yang berisi data beban x elongasi dari masing-masing specimen dan telah diperoleh tegangan bending, regangan bending, dan modulus elastisitas bending.



Gambar 5. Grafik Regangan Bending



Gambar 6. Grafik Modulus Elastisitas

Berdasarkan grafik tegangan bending diatas terlihat bahwa biokomposit yang memiliki nilai tegangan bending paling tinggi 15% yaitu sebesar 40,744 MPa, ini disebabkan karna biokomposit dengan penambahan serat ampas tebu sudah terjadi ikatan yang homogen antara ampas tebu dengan resin akrilik sehingga ketika spesimen diberikan beban specimen mampu menerima beban secara merata.

Pada grafik regangan bending dapat dilihat hubungan antara variasi penambahan ampas tebu pada biokomposit ampas tebu terhadap regangan bending dimana hasil yang di peroleh pada specimen biokomposit dengan penambahan ampas tebu sebanyak 5% memiliki nilai regangan bending paling tinggi sebesar 0,020%.

Pada grafik modulus elastisitas dapat dilihat hubungan antara biokomposit ampas tebu terhadap modulus elastisitas. Pada specimen biokomposit ampas tebu dengan penambahan ampas tebu sebanyak 20% memiliki nilai modulus elastisitas paling tinggi yaitu sebesar 3,091 MPa.

4.3 Data Hasil Pengamatan Struktur mikro

Hasil pengujian struktur mikro pada specimen dengan variasi 5% ampas tebu dan 95% resin akrilik struktur yang dimiliki ditentukan oleh serat ampas tebu dan resin akrilik .bentuk dan ukuran tersusun dengan rapi serta terdapat void.

Hasil pengujian struktur mikro pada specimen dengan variasi 10% ampas tebu dan 90% resin akrilik struktur yang dimiliki oleh serat ampas tebu dan resin akrilik bentuk dan ukuran tersusun dengan rapi serta beraturan.

Hasil pengujian struktur mikro pada specimen dengan variasi 15% ampas tebu dengan 85% resin akrilik 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.

Hasil struktur micro pada specimen dengan variasi 20% ampas tebu dan 80% resin akrilik struktur yang dimiliki pada specimen tersebut terdapat lobang hitam karena disebabkan campuran tidak merata sehingga hasil sedikit tidak beraturan.

5 Kesimpulan

1. Hasil penelitian uji tarik menunjukkan bahwa biokomposit ampas tebu dengan variasi persentase penambahan ampas tebu sebanyak 10% memiliki nilai kekuatan tarik paling tinggi. Dimana nilai tegangan tarik sebesar 15,605 MPa, nilai regangan Tarik sebesar 0,095 , dan nilai modulus elastisitas sebesar 9,535 Gpa. Pada hasil uji bending menunjukkan bahwa semakin banyak persentase ampas tebu yang ditambahkan kedalam biokomposit resin akrilik dan ampas tebu maka kekuatan Bending dari biokomposit itu akan semakin tinggi

2. Hasil uji struktur mikro yang di dapat pada variasi 5 % ampas tebu dengan pembesaran sekala 1 : 100 memiliki bentuk dan ukuran tersusun dengan rapi serta beraturan, namun terdapat gelembung udara, pada variasi 10 % ampas tebu terdapat lubang hitam karena disebabkan campuran tidak merata pada variasi 15 % bentuk tidak tersusun rapi dan tidak beraturan Hasil pengujian struktur mikro ampas tebu 20% seperti 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



Anak Agung Gede Aditya 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

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] Nogo, K., Bunganaen, W., & Pell, Y. M., 2015, *Pengaruh Fraksi Volume Terhadap Sifat Bending Komposit Widuri-Polyester*, LONTAR Jurnal Teknik Mesin Undana, Vol.2, No.2.
- [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] Matthews, F. L., & Rawlings, R. D., 1993, *Composite Material Engineering And Science*. London, UK: Technology And Medicine.

Studi Experimental Proses Termodinamika Udara Pada Pendinginan Indirect Evaporative Cooling Berbasis In-Line Solid Dry Pad.

A A Made Arie Prastyo, Hendra Wijaksana, N. Suarnadwipa
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Kebutuhan akan sistem pendingin yang lebih hemat energi dan ramah lingkungan, sesuai dengan program green and clean energy yang dicanangkan banyak negara, telah mendorong dilakukannya pengembangan terhadap sistem pendingin evaporative. Sistem indirect evaporative cooling adalah salah satu sistem pendingin evaporative yang mendinginkan udara melalui proses evaporasi dan tanpa adanya kontak langsung udara dan air. Dalam penelitian ini akan dikaji proses termodinamika udara yang terjadi pada sistem indirect evaporative cooling berbasis solid dry pad. Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian proses termodinamika udara yang terjadi pada variasi prosentase volume pengisian solid dry pad 50% (320 cm³), 75% (480 cm³) dan 100% (640 cm³). Kecepatan aliran udara diatur konstan pada 11.3 m/s. Pencatatan data yang dilakukan termasuk didalamnya temperature bola basah (TwB) dan bola kering (TdB) udara masuk dan keluar solid dry pad. Selanjutnya dilakukan penentuan penurunan temperature bola kering dan penurunan kelembaban relative udara keluar solid dry pad serta penentuan proses termodinamika yang terjadi pada udara yang melewati solid dry pad menggunakan psychrometric chart.. Sebagai hasil penelitian didapat bahwa penurunan temperature bola kering rata-rata (pendinginan) yang tertinggi dicapai pada prosentase volume pengisian solid dry pad 100% (640 cm³) yakni sebesar 2.35°C dan terendah terjadi pada volume pengisian 50% (320 cm³) yakni sebesar 1.45°C. Sedangkan Penurunan kelembaban relative rata-rata (dehumidifikasi) yang tertinggi dicapai pada prosentase volume pengisian solid dry pad 100% (640 cm³) sebesar 11.0%, dan yang terendah terjadi pada volume pengisian 50% (320 cm³) yakni sebesar 8.1%. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa proses termodinamika yang terjadi akibat variasi ketiga prosentase volume pengisian solid dry pad adalah pendinginan dan dehumidifikasi dan prosentase volume pengisian solid dry pad sangat berpengaruh terhadap tingkat pendinginan dan dehumidifikasi yang terjadi pada udara yang melewati solid dry pad.

Kata kunci : Proses termodinamika udara, indirect evaporative cooling, in-line solid dry pad, pendinginan dan dehumidifikasi.

Abstract

Electrical energy needs and environmental impacts caused by the increasingly widespread use of compressor-based air conditioning (AC) systems, has led to the development of an evaporative cooling system that is more energy efficient and environmentally friendly, with sufficient cooling efficiency. The indirect evaporative cooling system is one of the evaporative cooling systems which cools the air through the evaporation process and without direct contact with air and water. This research will study the air thermodynamic process that occurs in the indirect evaporative cooling system based on in-line solid dry pad. In this study, an air thermodynamic process was tested which occurred in the variation of the volume of the filling of solid dry pad 50% (320 cm³), 75% (480 cm³) and 100% (640 cm³). The air flow velocity that passes through the solid dry pad is set at a constant speed of 11.3 m / s. Data recording included wet ball temperature (TwB) and dry ball (TdB) air in and out of the solid dry pad. Next, determine the decrease in dry ball temperature and decrease the relative humidity of the air coming out of the solid dry pad. By plotting wet and dry ball temperature data on a psychrometric chart, the thermodynamic process that occurs in the air passing through the solid dry pad will be determined. As a result of the study it was found that the highest decrease in dry ball temperature (cooling) was achieved at the percentage of solid dry pad 100% (640 cm³) filling volume which was 2.35oC and the lowest occurred at 50% (320 cm³) fill volume which was 1.45 oC. While the highest average relative humidity reduction (dehumidification) was achieved at the percentage of solid dry pad 50% (320 cm³) filling volume by 8.1%, and the lowest occurred at 100% (640 cm³) filling volume of 3.4%. Thus it can be concluded that the thermodynamic process that occurs due to variations in the three percentages of solid dry pad filling volume is cooling and dehumidification and the percentage of solid dry pad filling volumes is very influential on the cooling rate and dehumidification that occurs in the air that passes through the solid dry pad.

Keywords: Air thermodynamic processes, indirect evaporative cooling, in-line solid dry pad, prepared and dehumidified

1. Pendahuluan

Indonesia adalah negara tropis dengan iklim yang panas dan lebab, dimana suhu udara rata-rata 30-35 °C dengan kelembaban relatif antara 70-80%. Untuk mendapatkan kenyamanan udara diperlukan sistem pendingin AC yang berbasis kompresor. Sistem AC ini cukup tinggi kebutuhan energi listriknya dan

penggunaan refrigerant juga dapat merusak lingkungan. Banyak peneliti yang banyak mencari sistem pendingin alternative yang lebih hemat energi dan ramah lingkungan, diantaranya adalah sistem pendingin evaporative. Kebanyakan sistem pendingin evaporative, baik yang direct evaporative cooling maupun yang indirect evaporative

cooling menghasilkan selisih penurunan temperatur bola kering (efek pendinginan) dan kelembaban relative (efek dehumidifikasi) yang belum begitu signifikan. Berdasarkan kondisi diatas maka dalam penelitian ini, saya terdorong untuk melakukan penelitian tentang sistim pendingin indirect evaporative cooling yang berbasis solid dry pad, yang diharapkan mampu memberikan performa pendinginan dan dehumidifikasi yang lebih tinggi.

2. Dasar Teori

2.1 Indirect Evaporative Cooler

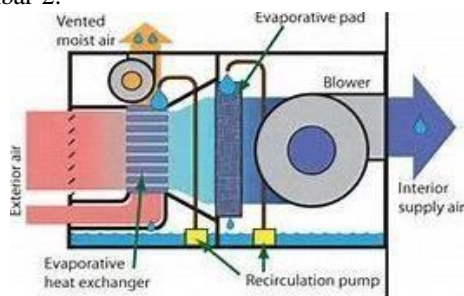
Indirect Evaporative Cooler merupakan sistim pendingin dimana udara yang akan didinginkan tidak mengalami kontak langsung dengan media pendinginnya. Secara umum prinsip kerja sistim indirect evaporative cooling dapat dilihat seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Prinsip Kerja Sistim Indirect Evaporative Cooling

2.2 Konstruksi dan Cara Kerja Indirect Evaporative Cooling

Indirect evaporative cooling merupakan sistim yang terdiri dari dua saluran udara, yakni saluran kering dan basah yang dipisahkan oleh suatu material penukar panas, biasanya berupa pelat tipis aluminium atau tembaga. Pada saluran kering mengalir udara luar yang akan didinginkan, sedangkan pada saluran basah mengalir udara luar juga, tetapi akan dialirkan berlawanan arah dengan aliran air yang disemprotkan dari sisi atas sistim indirect evaporative cooling Konstruksi dan cara kerja dari sistem ini ditunjukkan seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Indirect evaporative Cooler

3. Metodologi

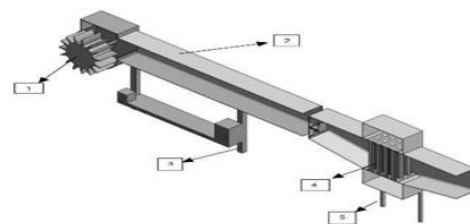
3.1 Alat dan Bahan

Peralatan dan bahan yang akan digunakan dalam melakukan percobaan dan penelitian adalah sebagai berikut :

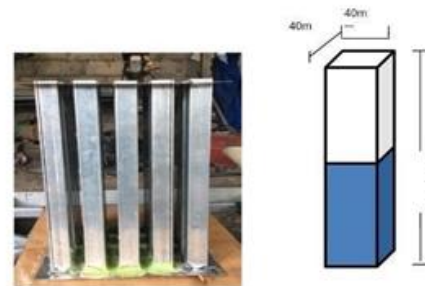
1. Fan
2. Thermometer dan thermokopel.
3. Stopwatch.
4. Dry Ice.
5. Timbangan.
6. Anemometer.

3.2 Pemodelan Pengujian.

Untuk mempermudah pengujian indirect evaporative cooling system maka dibuat pemodelan alat seperti gambar berikut ini :

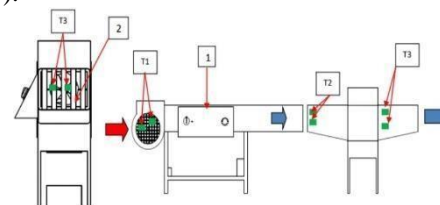


Gambar 3. Skematik Alat Pengujian



Gambar 4. Solid Dry Ice Pad

Ukuran solid dry pad : 4 cm (panjang) x 4 cm (lebar) x 40 cm (tinggi), maka volume penuh (100% dry ice) solid dry pad adalah 640 cm³, 75% (480 cm³) dan 50% (320 cm³).



Gambar 5. Skematik Pengujian

Keterangan

1. Mechanical Fan
2. Solid Dry Pad terdapat 20 besi yang berbentuk balok
3. Thermometer :
 T_1 = Temperatur udara masuk fan (udara sekitar). T_2 = Temperatur udara masuk pads (setelah fan) T_3 = Temperatur udara keluar pads.

3.3 Langkah Perancangan.

Langkah-langkah dalam perancangan dew point cooling system ini adalah sebagai berikut :

- Siapkan alat dan bahan berupa pipa besi 4x4 sebanyak 20 batang dengan tinggi 400 mm.
- Posisikan pipa-pipa tersebut secara in-line , atur jarak antara pipa, dan sambungkan bagian bawah pipapipa tersebut pada plat datar dengan pengelasan, sehingga terbentuk cooling pad.
- Pengisian pipa-pipa pad dengan dry ice sesuai dengan prosentase pengisiannya. Pengisian dilakukan dengan menggunakan pipa sampel yang terukur volumenya, baru kemudian dituangkan ke masing-masing pipa terpasang.
- Bila pengisian telah selesai, lalu tempatkan solid dry pad setelah fan pada box uji.
- Setelah semua selesai maka rangkai alat seperti yang ditunjukkan pada gambar.
- Pasang thermometer bola kering dan bola basah pada sisi masuk udara pada fan serta sisi masuk dan sisi keluar udara dari solid dry pad.

3.4. Cara Kerja Alat Pengujian

Udara luar dengan suhu, kelembaban dan kecepatan tertentu akan mengalir memasuki solid dry tube dengan temperature permukaan pipa yang cukup dingin. Udara luar yang diketahui mengandung banyak uap air (moisture) kemudian bila bersentuhan dengan permukaan pipa dengan temperature yang lebih rendah dari temperature bola basah udara luar, maka akan terjadi kondensasi.

3.4 Prosedur Penelitian.

Pengujian dew point cooling system ini dilakukan dengan memvariasikan kecepatan aliran udara masuk, prosentase volume pengisian pipa. Adapun langkahlangkah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Pemasangan sistim pengujian dan pencatatan data..
- Atur putaran fan pada kecepatan $V_{ud} = 11.3 \text{ m/s}$
- Pasang solid dry pad dengan volume pengisian dry ice 100% (640 cm^3) susunan in-line
- Setelah sistim siap, hidupkan fan, lakukan pencatatan temperature bola kering dan bola basah pada sisi masuk fan, sisi masuk pad dan sisi keluar pad setiap 5 menit dalam rentang waktu selama 60 menit
- Lakukan pengulangan b - d untuk volume pengisian dry ice 75% (480 cm^3) dan 50% (320 cm^3)
- Analisa hasil pengujian.

4. Hasil dan Pembahasan

Tabel 1. Tempertur udara

Volume SDP (%)	T _{dB1} (in) (°C)	T _{wB1} (in) (°C)	T _{dB3} (out) (°C)	T _{wB3} (out) (°C)
50	28.55	27.26	27.10	24.73
75	28.64	27.62	26.65	24.55
100	28.42	27.50	26.14	23.77

Tabel 2. Relative Humadity

Volume SDP (%)	Rel.Humadity (RH) in (%)	Rel. Humadity (RH) out (%)
50	90.6	82.5
75	92.8	84.3
100	93.3	82.3

Dalam penelitian ini, kecepatan aliran udara diatur pada kecepatan konstan $V_{50} = 11,3 \text{ m/s}$ dengan

variasi prosentase volume pengisian dry ice pada solid dry pad (SDP) 50% (320 cm^3), 75% (480 cm^3), dan 100% (640 cm^3).

Berdasarkan data temperature bola kering dan bola basah pada Tabel. 1. dan Tabel 2 dapat ditentukan besarnya selisih penurunan temperature bola kering dan kelembaban relative udara pada variasi volume SDP masing-masing 50%, 75%, dan 100% , yang dapat dilihat pada perhitungan seperti dibawah ini :

4.1. Menentukan Selisih Penurunan Temperatur Bola Kering dan Relative Humidity pada Volume SDP 50% (320 cm^3)

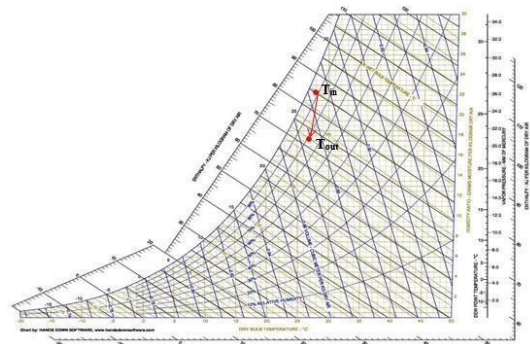
Menentukan Selisih Penurunan Temperatur Bola Kering pada volume SDP 50% (320 cm^3).

$$\begin{aligned} \Delta T_{dB} &= T_{dB1} - T_{dB3} \\ &= 28,55^\circ\text{C} - 27,10^\circ\text{C} \\ &= 1.45^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Menentukan Selisih Penurunan Kelembaban Relative Udara pada Volume SDP 50% (320 cm^3)

$$\begin{aligned} \Delta RH &= RH_{in} - RH_{out} \\ &= RH(T1) - RH(T3) \\ &= 90.6 - 82.5 \\ &= 8.1\% \end{aligned}$$

Dari data temperature bola kering dan bola basah T_{dB1},T_{wB1} dan T_{dB3},T_{wB3} dapat ditentukan diagram psikrometrik proses termodinamika yang terjadi pada aliran udara pada volume SDP 50% , seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram psikrometrik proses termodinamika udara dengan volume SDP 50% (320 cm^3)

Dari Gambar 6. dapat dilihat bahwa proses termodinamika yang terjadi adalah proses pendinginan dan dehumidifikasi, dimana antara sisi masuk dan keluar solid dry pad, terjadi penurunan temperature bola kering rata-rata 1.45°C (pendinginan) dan penurunan kelembaban relative udara rata-rata 8.1 % (dehumidifikasi).

Menentukan Selisih Penurunan Temperatur Bola Kering dan Relative Humidity pada Volume SDP 75% (480 cm^3). Dari tabel 1 dan 2 dapat

ditentukan besarnya penurunan temperature bola kering dan kelembaban relative rata-rata pada volume SDP 75% sebagai berikut

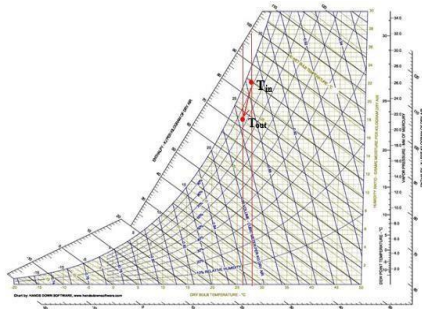
Menentukan Selisih Penurunan Temperatur Bola Kering pada volume SDP 75% (480 cm³).

$$\begin{aligned} \Delta T_{dB} &= T_{dB 1} - T_{dB 3} \\ &= 28,63^{\circ}\text{C} - 26,65^{\circ}\text{C} \\ &= 2.0^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Menentukan Selisih Penurunan Kelembaban Relative Udara pada Volume SDP 75%.(480 cm³)

$$\begin{aligned} \Delta RH &= RH_{in} - RH_{out} \\ &= RH (T1) - RH (T3) \\ &= 92.8 - 84.3 \\ &= 8.5\% \end{aligned}$$

Akan didapat diagram psikrometrik untuk proses thermodynamika yang terjadi pada aliran udara pada volume SDP 75%, seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram psikrometrik proses thermodynamika udara dengan volume SDP 75% (480 cm³)

Dapat dilihat pada Gambar 7. bahwa proses thermodynamika yang terjadi pada aliran udara dengan volume pengisian dry ice 75% (480 cm³) adalah proses pendinginan dan dehumidifikasi, ditunjukkan dengan selisih penurunan temperature bola kering rata-rata sebesar 2.0°C dan kelembaban rata-rata sebesar 8.5 % pada sisi keluar solid dry pad.

Menentukan Selisih Penurunan Temperatur Bola Kering dan Relative Humidity pada Volume SDP 100% (640 cm³). Berdasarkan Tabel 1 dan 2. dapat ditentukan selisih penurunan temperature bola kering dan kelembaban relative pada volume SDP 100% sebagai berikut.

Menentukan Selisih Penurunan Temperatur Bola Kering pada volume SDP 100% (640 cm³).

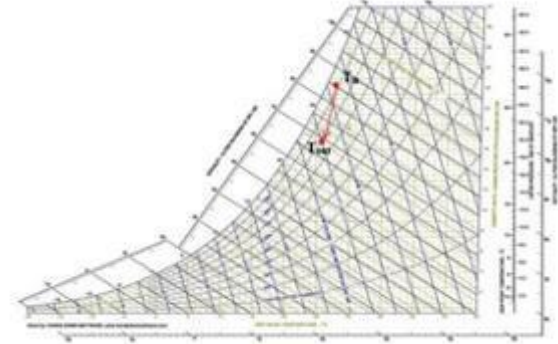
$$\begin{aligned} \Delta T_{dB} &= T_{dB 1} - T_{dB 3} \\ &= 28,48^{\circ}\text{C} - 26,13^{\circ}\text{C} \\ &= 2.3^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Menentukan Selisih Penurunan Kelembaban Relative Udara pada Volume SDP 100%.(640 cm³)

$$\begin{aligned} \Delta RH &= RH_{in} - RH_{out} \\ &= RH (T1) - RH (T3) \\ &= 93.3 - 82.3 \end{aligned}$$

$$= 11.0 \%$$

Dari data temperature bola kering dan bola basah udara pada sisi masuk dan keluar SDP pada volume SDP 100%, didapat diagram psikrometrik proses thermodynamika udara seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. Diagram psikrometrik proses aliran udara pada volume SDP 100% (640 cm³)

Dapat dilihat pada Gambar 8. bahwa proses thermodynamika yang terjadi pada aliran udara dengan volume pengisian dry ice 100% (640 cm³) adalah proses pendinginan dan dehumidifikasi. Dari ketiga data hasil variasi prosentase volume pengisian dry ice terhadap proses thermodynamika yang dialami oleh udara yang melewati solid dry pad pada kecepatan aliran udara 11.3 m/s dapat ditabulasikan seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Porses Termdinamika Udara

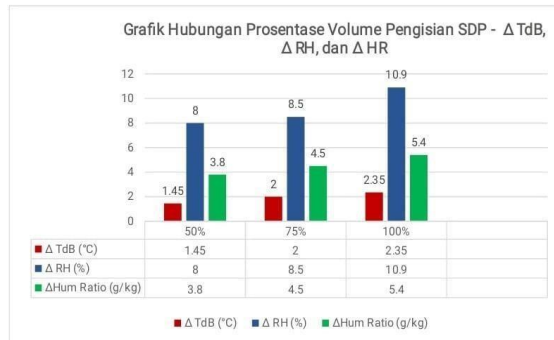
Prosentase volume dry ice (%)	Δ TdB (°C)	Δ RH (%)	Proses Thermodynamika
50 (320 cm ³)	1.45	8.0	Pendinginan dan Dehumidifikasi
75 (480 cm ³)	2.00	8.5	Pendinginan dan Dehumidifikasi
100 (640 cm ³)	2.35	11.0	Pendinginan dan Dehumidifikasi

Berdasarkan data pada tabel 3 dapat dibuatkan grafik hubungan prosentase volume pengisian solid dry pad dengan selisih penurunan temperature bola kering dan kelembaban relative (Gambar 9) dan grafik hubungan selisih ΔTdB dan volume SDP terhadap waktu (Gambar 10) serta grafik hubungan selisih kelembaban relative, ΔRH dan volume SDP terhadap waktu (Gambar 11) seperti dibawah ini.

Keterangan :

Δ TdB = Selisih penurunan temperatur bola kering (°C)

Δ RH = Selisih penurunan kelembaban relatif (%)
 Δ HR = Selisih penurunan humidity ratio (gr. uap air/kg udara kering)



Gambar 9. Grafik Hubungan Volume SDP dengan Δ TdB dan Δ RH



Gambar 10. Penurunan TdB dan Volume SDP terhadap Waktu



Gambar 11. Grafik Hubungan Selisih Penurunan Relative Humidity dan Volume SDP terhadap Waktu.

5. Kesimpulan

Sistem indirect evaporative cooling berbasis solid dry pad ini pada prosentase pengisian solid dry pad 100% (640 cm³) mampu menurunkan temperature bola kering dan bola basah udara masing-masing hingga 26.14°C dan 23.77°C dengan selisih penurunan temperature bola kering tertinggi sebesar 2.35°C, dan selisih penurunan kelembaban relative tertinggi sebesar 11.0%. Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa sistim indirect evaporative cooling berbasis solid dry pad mampu menghasilkan udara dengan tingkat pendinginan dan dehumidifikasi yang cukup signifikan, sehingga udara produk yang dihasilkan akan menjadi lebih dingin dan kering,

Daftar Pustaka

- [1]. Arfidian Rachman, Sulaiman, & Syafrul Hadi. (2018). *Improved Performance of the Vapor Compression Cooling System Using A Combination of Condensers-Evaporative Cooling*, 8, 22-26. Retrieved from <http://dx.doi.10.21063/JTM>.
- [2]. Harris, N. C. (1987). *Modern Air conditioning Practice (3rd ed.)*. Publ. N.Y.: Mc Graw-Hill Book Co.
- [3]. Hendra Wijaksana, & I Nengah Suarnadwipa. (2016). *Studi Eksperimental Performansi Pendingin Ice Bunker Menggunakan Media Ice Dengan Variasi Massa Berbeda*. Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika, 5, 1-6.
- [4]. Holman J. P. (1986). *Heat Transfer . Amerika Serikat: Erlangga*.
- [5]. I Putu Yudi Aryawan, Hendra Wijaksana, dan I Nengah Suarnadwipa. (2016). *Study eksperimental performa pendingin ice bunker dengan kombinasi massa dry ice dan ice*. Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika, Volume 5, Nomer 3, 1-5.
- [6]. 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.
- [7]. Jesse Dean, Lesley Herrmann, Eric Kozubal, dan Jesse Geiger. (2012). *Dew Point Evaporative Comfort Cooling*, 1, 21-30.
- [8]. Martin Karpiscak, & Mary H. Marion. (1994). *Evaporative Cooler Water Use [journal]*. Arizona (USA): The University of Arizona.
- [9]. Riangvilaikul, B., Kumar, S., 2010, *An Experimental Study Of A Novel Dew Point Evaporative Cooling System*. *Energy and Buildings*, Elsevier, 42 :637. 2, 2.
- [10]. Seth I. Manuwa & Simon O. Odey. (2012). *Evaluation of Pads and Geometrical Shapes for Constructing Evaporative Cooling System*.

- [11]. Suprianto, Fandi D. (2004) *Peningkatan unjuk kerja peralatan air washer dan evaporative cooler. p.12.*

	<p>Anak Agung Made Arie Prastyo menyelesaikan studi program sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2013 sampai 2020</p>
<p>Telah menyelesaikan studi program sarjana S1 dengan topik penelitian “Studi Experimental Proses Termodinamika Udara Pada Pendinginan Indirect Evaporative Cooling Berbasis In-Line Solid Dry Pad” penelitian yang diminati adalah proses perubahan pendinginan dan dehumidifikasi.</p>	

Karakteristik Fisik dan Mekanik Greencomposite Kulit Jagung Manis (*Zea mays L. Sacchrata*) Dengan Matriks Sari Pati Singkong (*Manihot utilisima*)

Hendrik Josua Pardomuan Siregar, I Wayan Surata, Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Green composite dengan material dasar alamnya menjadi alternatif untuk mengganti peran dari komposit sintetis karena sifatnya yang dapat terdegradasi/diurai oleh alam (biodegradable). Salah satu bahan alam yang dapat menjadi greencomposite adalah serat kulit jagung dan matriks sari pati singkong. Tujuan dari penelitian ini adalah memahami sifat mekanik dan fisik greencomposite serat kulit jagung dan sari pati singkong dengan variasi 40%, 50% dan 60%. Terdapat uji bending dan uji SEM pada penelitian ini. Hasil uji bending menunjukkan bahwa greencomposite serat kulit jagung dengan matriks sari pati singkong dengan variasi 50% serat memiliki nilai kekuatan bending yang paling ideal dengan nilai tegangan, regangan dan modulus elastisitas bending secara berturut – turut sebesar 4.624 MPa, 0.072 dan 163.629 MPa. Hasil uji SEM menunjukkan bahwa ikatan antara matriks dan serat telah terikat cukup sempurna.

Kata kunci: greencomposite, serat kulit jagung, matriks sari pati singkong.

Abstract

Green composite with its natural base material is an alternative to replace the role of synthetic composites because of its biodegradable nature. One of the natural ingredients that can become greencomposite is corn husk fiber and cassava starch extract matrix. The function of this study is to know the mechanical and physical characteristics of greencomposite corn husk fiber and cassava starch with variations of 40%, 50%, and 60%. The tests carried out are the bending test and the SEM test. The results of the bending test showed that the corn husk greencomposite with cassava starch extract matrix with a variation of 50% fiber had the most ideal bending strength values with stress, strain and bending elasticity modulus of 4,624 MPa, 0.072 and 163,629 MPa, respectively. SEM test results show that the bond of the matrix mix to fiber has been bonded quite perfectly.

Keywords: green composites, corn husk fiber, cassava starch extract matrix.

1. Pendahuluan

Dalam era globalisasi saat ini peran komposit sangat vital dan sering dipakai. Akan tetapi, produk komposit masih cenderung berasal dari material sintetis berupa plastik yang sangat sulit terdegradasi. Hal ini mengindikasikan bahwa material plastik apabila telah menjadi sampah akan menjadi masalah yang cukup serius bagi lingkungan hidup. INAPLAS dan Badan Pusat Statistik (BPS) memiliki data jumlah sampah plastik di Indonesia sebesar 64 juta ton tiap tahun dan Provinsi Bali termasuk sebagai salah satu provinsi penyumbang sampah plastik terbesar. Guna menjawab keresahan tersebut Bapak Wayan Koster selaku Gubernur Bali mengeluarkan Pergub Bali (Pergub) No.97 Tahun 2018 berisi “Pembatasan timbulan sampah plastik sekali pakai.” Merujuk kepada data statistik dan Pergub yang ada, maka *greencomposite* yang memiliki sifat *biodegradable* menjadi solusi menggantikan komposit sintetis. Salah satu bahan *greencomposite* adalah serat kulit jagung yang dipadukan dengan sari pati *Manihot utilisima* yang berperan sebagai matriks. Diketahui bahwa dari 100% bagian pada

tanaman jagung, 95% diantaranya adalah limbah alami yang tidak dikonsumsi, meliputi : batang, daun, kulit dan tongkol jagung [1]. Kulit jagung juga memiliki sifat mekanik, yaitu : pada penampang membujur memiliki keteguhan tarik sebesar 10,8 Mpa, Modulus elastis sebesar 387,4 Mpa, keteguhan belah 5,03 % dan pada penampang melintang memiliki keteguhan tarik sebesar 4,32 Mpa, Modulus elastis sebesar 169,3 Mpa serta keteguhan belah 3,7% [2]. Sari pati *Manihot utilisima* ialah pati yang murni didapat dari hasil ekstraksi penghancuran singkong [3]. Konsentrasi amilosa sari pati *Manihot utilisima* berada pada nilai 12,28% hingga 27,38% sedangkan konsentrasi amilopektin berada pada nilai 72,61% hingga 87,71%. Konsentrasi amilosa menentukan baik tidaknya sifat mekanik *bioplastic* [4]. Output dari studi ini ialah memahami sifat mekanik serta fisik greencomposite serat kulit jagung matriks sari pati *Manihot utilisima* dengan tujuan pengaplikasian sebagai bahan dasar dalam pembuatan *furniture* rumah tangga seperti kotak nasi, piring dan tas belanja dengan sifat *reusable*.

Dalam hal ini akan membahas rumusan masalah, berupa:

1. Bagaimana kekuatan *bending greencomposite* serat kulit jagung matriks sari pati *Manihot utilissima* dengan variasi fraksi berat?
2. Bagaimana karakteristik fisik berupa struktur morfologi permukaan patahan *greencomposite* serat kulit jagung matriks sari pati *Manihot utilissima* dengan variasi fraksi berat?

Terdapat batasan masalah pada studi ini, seperti:

1. Penelitian menggunakan serat kulit jagung dengan jenis *Zea mays L. Saccharata* (jagung manis) dan umur panen ± 2 bulan.
2. Penelitian ini menggunakan sari pati singkong (*Manihot utilissima*).
3. Penelitian ini menggunakan metode *hand lay – up* dalam pencetakan *greencomposite*
4. Penelitian ini menggunakan fraksi berat dengan perbandingan :
 - a. 40% serat kulit jagung : 60% sari pati *Manihot utilissima*
 - b. 50% serat kulit jagung : 50 % sari pati *Manihot utilissima*
 - c. 60% serat kulit jagung : 40% sari pati *Manihot utilissima*.

2. Dasar Teori

2.1 Greencomposite

Greencomposite adalah Perpaduan dua jenis material hingga lebih yang penyusunnya berupa bahan alami. Potensi pencampuran bahan tersebut akan menghasilkan material *greencomposite* dengan sifat mekanik serta struktur morfologi yang lebih baik beda dari bahan penyusunnya. Material *greencomposite* tersusun atas dua jenis material penyusun, yaitu bahan penguat/serat dan matriks/bioresin.

2.2 Serat atau Bahan Penguat

Merupakan bahan utama dari *greencomposite*, serat berfungsi sebagai rangka atau penahan beban pada *greencomposite*. Serat ini biasanya memiliki sifat ulet tetapi lebih kuat. Besar kecilnya kekuatan bahan *greencomposite* dipengaruhi oleh potensi dari serat penyusunnya, semakin rendah diameter serat maka semakin tinggi nilai kekuatan bahan, karena minimnya cacat pada material [5].

2.3 Matriks atau Bioresin

Matriks memiliki fungsi sebagai perekat serat / bahan penguat. Matriks yang terbuat dari bahan alam disebut *bioresin*. *Bioresin* pada *greencomposite* diharapkan berpotensi mentransmisi beban, sebagai tempat menempelnya serat serta ikatan dari *bioresin* dan serat tidak ada reaksi yang mengganggu.

2.4 Serat Kulit Jagung

Kulit jagung memiliki sifat tahan terhadap gesekan, tidak memiliki bau, sulit dikontaminasi oleh bakteri, lemah akan penyerapan air dan serat yang memiliki arah memanjang mempunyai nilai

kekuatan yang tinggi. Kulit jagung juga memiliki sifat mekanik, yaitu : pada penampang membujur memiliki keteguhan tarik sebesar 10,8 Mpa, Modulus elastis sebesar 387,4 Mpa, keteguhan belah 5,03 % dan pada penampang melintang memiliki keteguhan tarik sebesar 4,32 Mpa, Modulus elastis sebesar 169,3 Mpa serta keteguhan belah 3,7% [2].

2.5 Sari Pati *Manihot utilissima*

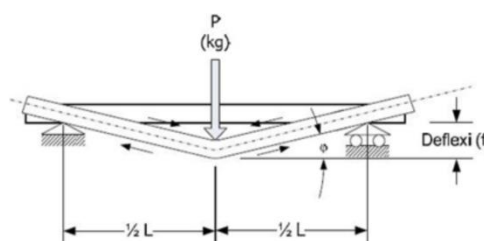
Sari pati *Manihot utilissima* (tepung tapioka) merupakan hasil ekstraksi dari tanaman singkong. Konsentrasi amilosa sari pati *Manihot utilissima* berada pada nilai 12,28% hingga 27,38% sedangkan konsentrasi amilopektin berada pada nilai 72,61% hingga 87,71%. Konsentrasi amilosa menentukan baik tidaknya sifat mekanik *bioplastic* [4].

2.6 Perlakuan NaOH

Pemberian NaOH ke serat alam disebut dengan *mercerization*, termasuk cara yang paling umum dipakai guna mendapatkan kualitas serat yang baik [6]. Pengaruh perlakuan NaOH pada karakter permukaan serat alam selulosa sudah diteliti dan didapat bahwa konsentrasi optimum berpotensi untuk mengalami reduksi, hingga sifat *hydrophilic*nya dapat membentuk ikatan *interfacial* yang optimal terhadap matriks [7].

2.7 Uji Bending

Kekuatan *bending* ialah tegangan *bending* terbesar yang mampu didapat, efek dari beban yang diterima tanpa mengakibatkan tingginya nilai deformasi atau kegagalan. Hasil uji *bending*, sisi atas spesimen mendapat tekanan dan sisi yang lainnya akan mendapat tegangan tarik.



Gambar 1. Skema *three – point bending*

Menggunakan standar ASTM D790 – 03.

Tegangan terhadap uji *bending* dapat dihitung dengan :

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

Menentukan regangan *bending*, dilakukan dengan :

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

Menentukan nilai modulus elastisitas *bending*, dapat dilakukan dengan :

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

Dimana :

σ_L = Tegangan *Bending* (MPa)

ε_L = Regangan *bending*

δ = Defleksi benda uji (mm)

E_L = Modulus Elastisitas *Bending* (MPa)

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

P = Beban (N)

L = Panjang Span (mm)
b = Lebar benda uji (mm)
d = Tebal benda uji (mm)

2.8 Uji SEM

Scanning Electron Microscope (SEM) ialah mikroskop electron dengan desain yang berpotensi untuk melakukan eksplorasi secara langsung terhadap permukaan objek yang padat. SEM memiliki perbesaran 10 – 300000x, *depth of field* 4 – 0.4 mm dan resolusi sebesar 1– 10 nm [8].

3. Metode Penelitian

3.1 Bahan Penelitian

1. Matriks : Sari pati *Manihot utilissima*
2. Penguat : Serat kulit jagung (*Zea mays L. Saccharata*).
3. Natrium Hidroksida (NaOH)
4. Gliserin
5. Aquades

3.2 Alat Penelitian.

1. Peralatan uji : Mesin Uji Tensilon RTG 1250 dan Alat pengujian SEM.
2. Peralatan cetak : cetakan berbahan dasar kayu dengan bentuk ASTM D790-03,
3. Peralatan kalibrasi : Timbangan digital, jangka sorong, *beaker glass*, piknometer
4. Peralatan K3 : Sarung tangan karet dan masker
5. Peralatan bantu : *Hot plate* (Pemanas Elektrik), Besi Pengaduk, Aluminium Foil.
6. Alat pembersih : Lap Tangan, Kuas

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Poduksi Serat Kulit Jagung

1. Kulit jagung dikumpulkan dari pedagang jagung bakar.
2. Kulit jagung dibersihkan lalu memilah lapisan ke-2 sampai ke-5 untuk mendapatkan bahan baku serat yang akan digunakan sebagai spesimen.
3. Kulit jagung direndam dalam aquades selama 2 minggu sampai membusuk (*water retting*).
4. Setelah busuk, serat pada kulit jagung diekstrak dengan menggunakan sikat kawat, dibersihkan dan dijemur.
5. Selanjutnya serat kulit jagung direndam didalam larutan 5% NaOH untuk menghilangkan kadar lignin selama 2 jam dan dibersihkan.
6. Setelah itu, serat kulit jagung dijemur hingga kering selama 3 hari di bawah terik matahari sampai kadar airnya menghilang.
7. Serat kulit jagung dipotong – potong sepanjang 1 cm.

3.3.2 Produksi Matriks Sari Pati Singkong

1. Mencampurkan sari pati singkong (*Manihot utilissima*) dengan gliserin.
2. Mengaduk campuran sari pati *Manihot utilissima* dengan gliserin selama 3 menit hingga homogen.

3. Memasukkan aquades ke dalam larutan.
4. Memanaskan larutan menggunakan *hot plate* hingga membentuk gel. Kemudian sari pati *Manihot utilissima* siap digunakan sebagai matriks.

3.3.3 Proses Pembuatan Spesimen

1. Alat cetak *bending* berbahan kayu, serat dan matriks disiapkan.
2. Lapsi bagian dalam cetakan dengan aluminium foil dan dibersihkan.
3. Tuangkan serat kulit jagung dan matriks sari pati *Manihot utilissima* ke dalam cetakan dengan serat yang tersusun secara acak menggunakan 3 perbandingan fraksi berat, yaitu : (40% : 60%), (50% : 50%), (60% : 40%)
4. Tutup kembali bagian atas spesimen dengan aluminium foil.
5. Berikan tekanan pada spesimen dengan beban 5 kg.
6. Tunggu hingga kering
7. Keluarkan *greencomposite* dari cetakan.
8. Ulangi cara yang sama untuk mencetak *greencomposite* berikutnya.

3.4 Uji Bending

1. Lakukan pencatatan dimensi awal dari spesimen meliputi panjang awal (L), tebal (t), lebar (l), dan luas penampang awal (A_0).
2. Tetapkan panjang span pada bantalan dengan cara : 16 x tebal spesimen uji *bending*.
3. Tempatkan spesimen tepat di span, tempatkan spesimen hingga posisi alat *bending* tepat berada ditengah spesimen.
4. *Bending* diturunkan hingga ujung *bending* menyentuh specimen, kemudian secara bertahap alat *bending* diturunkan sampai spesimen terdesak ke bawah.
5. Perhatikan nilai beban bending, defleksi dan grafik yang muncul pada layar monitor uji *bending*
6. Lakukan pengujian sampai terjadi perubahan bentuk pada spesimen atau sampai grafik pada layar monitor mengalami penurunan yang konstan.
7. Hentikan penambahan beban dan lepas spesimen dari mesin pengujian *bending* bila spesimen sudah mengalami perubahan bentuk.
8. Lakukan langkah yang sama pada pengujian spesimen berikutnya.

3.5 Uji SEM

1. Spesimen uji disiapkan.
2. Spesimen uji dibersihkan memakai *ultrasonic cleaner* dengan media *acetone* guna membersihkannya dari debu yang menempel pada alat uji sebelum melakukan pengujian pada *specimen holder*.
3. Spesimen uji ditempelkan tepat di *specimen holder* memakai *double sticky tip* sehingga posisi spesimen rigid.
4. Memasukkan spesimen uji ke *specimen*

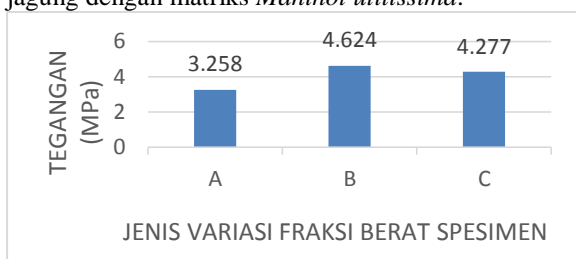
chamber pada mesin *Scanning Electron Microscope* guna dilakukannya observasi.

5. Atur pembesaran yang diinginkan untuk mempermudah dalam observasi terhadap struktur morfologi spesimen.
6. Potret dan lihat hasil pemotretan *Scanning Electron Microscope* dalam bentuk gambar.
7. Analisa struktur mikro dan makronya.

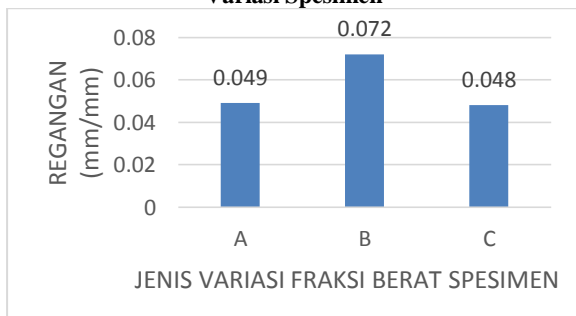
4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Pengujian *Bending*

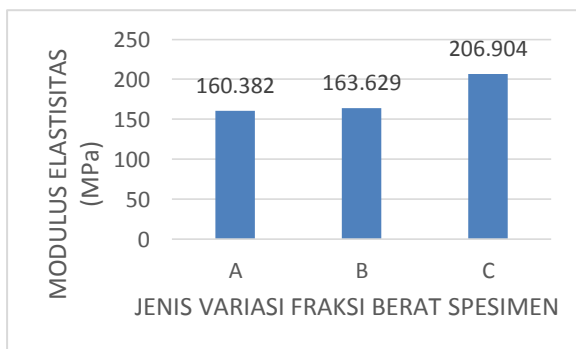
Pada proses pembuatan *greencomposite* serat kulit jagung dengan matriks sari pati *Manihot utilissima*, variasi fraksi berat yang digunakan memiliki pengaruh secara tidak langsung terhadap besaran nilai dari tegangan, regangan dan modulus elastisitas *greencomposite* tersebut. Berikut adalah grafik hasil dari pengujian dan pengolahan data pada uji *bending* terhadap *greencomposite* serat kulit jagung dengan matriks *Manihot utilissima*.



Gambar 2. Grafik Hasil Tegangan *Bending* Terhadap Variasi Spesimen



Gambar 3. Grafik Hasil Regangan *Bending* Terhadap Variasi Spesimen



Gambar 4. Grafik Hasil Modulus Elastisitas *Bending* Terhadap Variasi Spesimen

4.2 Pembahasan Pengujian *Bending*

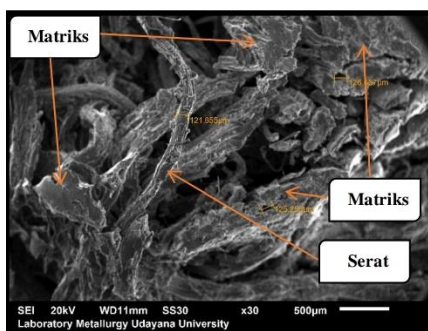
Pada Tegangan *bending*, variasi fraksi berat antara serat dan matriks sebagai penyusun

greencomposite sangat berpengaruh terhadap nilai tegangan *bending*, dimana semakin besar fraksi berat serat maka tegangan *bending* pun akan semakin tinggi pula, dikarenakan jumlah serat yang tinggi dapat menahan beban *bending* yang besar. Hal tersebut dikarenakan homogen tidaknya ikatan yang terjadi dari serat terhadap matriks. Seperti yang terlihat pada kenaikan tegangan *bending* dari spesimen A sebesar 3,258 MPa ke spesimen B sebesar 4,624 MPa. Dan penurunan nilai tegangan *bending* dari spesimen B sebesar 4,624 MPa ke spesimen C sebesar 4,277 MPa. Dari data tersebut dapat dilihat bahwa spesimen B memiliki ikatan yang paling sempurna dan cukup homogen, sedangkan spesimen A dan C memiliki ikatan yang kurang homogen sehingga bila diberikan beban *bending* maka beban *bending* yang dapat ditahan kurang optimum. Hal ini disebabkan oleh proporsi matriks yang terlalu banyak pada spesimen A dan terlalu banyak serat pada spesimen C sehingga matriks tidak dapat mengikat seluruh serat dengan sempurna.

Pada nilai regangan *bending* hasil dari pengujian dan grafik diatas, memiliki kasus yang sama dengan nilai tegangan *bending* dimana semakin besar fraksi berat dari serat maka nilai regangan akan semakin tinggi seperti pada kenaikan nilai regangan dari spesimen A sebesar 0,049 ke spesimen B sebesar 0,072. Dan apabila fraksi berat dari serat terlalu banyak maka nilai regangan akan rendah seperti pada penurunan nilai regangan dari spesimen B sebesar 0,072 ke spesimen C sebesar 0,048. Hal tersebut disebabkan terlalu banyaknya dan terlalu sedikitnya jumlah serat akan membuat kurang optimalnya ikatan homogen antar serat dan matriks. Jumlah serat yang terlalu banyak dan terlalu sedikit juga akan mempengaruhi nilai defleksi yang bekerja pada spesimen. Seperti yang terlihat pada spesimen C yang menjadi spesimen dengan nilai regangan *bending* terendah dari kedua spesimen yang lainnya.

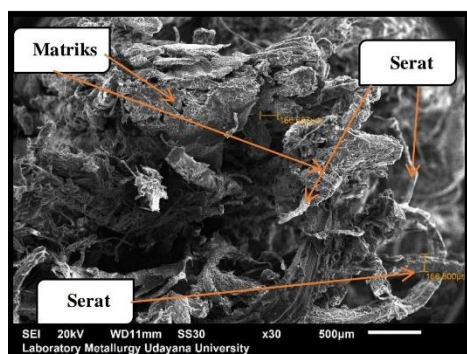
Sementara itu, pada nilai modulus elastisitas *bending* dipengaruhi oleh nilai m (Tangen garis lurus pada *Load Deflection Curve*). Dimana nilai m didapat dari hasil perbandingan antara beban yang diterima dan tegangan oleh spesimen dengan defleksi dan regangan yang terjadi pada spesimen. Sehingga nilai m sangat dipengaruhi oleh proporsi serat dengan matriks yang optimum pada spesimen. Hal ini terlihat pada tertingginya nilai modulus elastisitas spesimen C sebesar 206,904 MPa dibandingkan dengan 2 spesimen lainnya. Hal ini disebabkan oleh rendahnya nilai defleksi pada spesimen C yang berpengaruh pada tingginya nilai m yang nantinya digunakan sebagai pengali untuk menetapkan nilai modulus elastisitas *bending*. Sedangkan nilai modulus elastisitas dari spesimen A ke B tetap mengalami kenaikan sama seperti grafik tegangan dan regangan *bending* pada spesimen A ke B.

4.3 Hasil Foto dan Pembahasan Uji SEM



Gambar 5. Hasil uji SEM greencomposite fraksi variasi 40% serat : 60% matriks perbesaran 30x

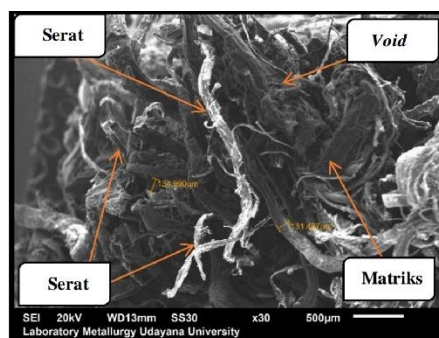
Gambar 5. merupakan foto hasil uji SEM greencomposite dengan fraksi berat serat kulit jagung 40% : 60% matriks sari pati *Manihot utilissima* dengan perbesaran 30x. Pada gambar dapat dilihat persebaran serat dan matriks yang cukup merata, meskipun proporsi matriks masih terlalu banyak daripada serat sehingga ikatan antar serat dan matriks kurang homogen. Ikatan yang kurang homogen tersebut berpengaruh terhadap sifat mekaniknya, berupa rendahnya beban *bending* yang mampu diterima oleh spesimen uji. Pada gambar 5. tidak ditemukan adanya *void* pada permukaan yang disebabkan oleh beban tekan yang diterima spesimen pada uji *bending* sebelumnya.



Gambar 6. Hasil uji SEM greencomposite variasi 50% serat : 50% matriks perbesaran 30x

Gambar 6. merupakan foto hasil uji SEM greencomposite dengan fraksi berat serat kulit jagung 50% : 50% matriks sari pati *Manihot utilissima* dengan perbesaran 30x. Pada gambar dapat dilihat persebaran serat dan matriks yang cukup merata dengan proporsi serat dan matriks yang ideal. Hal ini membuat ikatan antara serat dan matriks cukup homogen, dapat dilihat dari gambar 6 memiliki kerapatan yang lebih rapat daripada gambar 5. Ikatan yang cukup homogen ini berbanding lurus dengan optimumnya nilai kekuatan *bending* pada spesimen uji, dimana nilai tegangan dan regangan *bending* pada variasi ini memiliki nilai tertinggi dibandingkan 2 variasi fraksi berat lainnya dan memiliki nilai modulus elastisitas yang cukup optimum. Hal ini mengindikasikan bahwa sifat mekanik *bending* pada variasi fraksi berat ini cukup baik. Pada gambar ini juga tidak ditemukan *void* pada

permukaan yang disebabkan oleh beban tekan yang diterima spesimen pada uji *bending* sebelumnya.



Gambar 7. Hasil uji SEM greencomposite variasi 60% serat : 40% matriks perbesaran 30x

Gambar 7. merupakan foto hasil uji SEM greencomposite dengan fraksi berat serat kulit jagung 60% : 40% matriks sari pati *Manihot utilissima* dengan perbesaran 30x. Pada gambar dapat dilihat persebaran serat dan matriks yang kurang merata, dimana jumlah serat melebihi jumlah matriks yang berakibat pada tidak sempurnanya matriks dalam mengikat serat. Hal ini mengakibatkan ikatan antar serat dan matriks tidak homogen. Terlalu banyaknya serat menyebabkan spesimen dengan variasi fraksi berat ini memiliki sifat mekanik yang kurang optimum, dikarenakan rendahnya nilai defleksi *bending* pada spesimen uji yang disebabkan matriks yang tidak dapat menyelimuti serat secara keseluruhan. Pada gambar 7. juga dapat dilihat adanya *void* dan banyak serat yang berdiri sendiri (tidak diselimuti serat) pada struktur spesimen uji yang akan mempengaruhi sifat-sifat mekanik dari spesimen.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan tentang karakteristik fisik dan mekanik greencomposite serat kulit jagung dengan matriks sari pati singkong dengan melakukan pengujian terhadap sifat *bending* dan bentuk struktur morfologi melalui uji SEM, sehingga didapat kesimpulan seperti :

1. Hasil uji *bending* menyimpulkan greencomposite serat kulit jagung dengan matriks sari pati *Manihot utilissima* variasi fraksi berat 50% serat : 50% matriks mempunyai kekuatan *bending* tertinggi pada nilai tegangan di 4.624 MPa dan nilai regangan pada 0.072. sedangkan untuk nilai modulus elastisitas yang tertinggi pada 206,904 MPa dimiliki oleh spesimen dengan fraksi berat serat kulit jagung sebesar 60% serat : 40% matriks.
2. Hasil uji SEM menunjukkan bahwa variasi fraksi berat greencomposite serat kulit jagung dengan sari pati *Manihot utilissima* sebagai matriksnya sangat berpengaruh terhadap bentuk morfologi permukaan patahan spesimen. Dimana pada spesimen dengan fraksi 40% serat : 60% matriks memiliki penyebaran matriks dan

serat yang cukup baik akan tetapi kerapatan antara matriks dengan seratnya tidak serapat dengan spesimen fraksi berat serat sebesar 50% serat : 50% matriks. Sedangkan untuk spesimen dengan 60% serat : 40% matriks memiliki kerapatan antara serat dan matriks yang rendah dengan persebaran matriks dan serat yang kurang baik dan terdapat juga *void* di beberapa titik pada permukaan patahannya.

Daftar Pustaka

- [1] Faesal, F., 2013, *Pengolahan limbah tanaman jagung untuk pakan ternak sapi potong*. Seminar Nasional Inovasi Teknologi Pertanian, 19, 181–190.
- [2] Huda, S.N., 2008, *Composites from Chicken Feather and Cornhusk-Preparation and Characterization*, Nebraska: University of Nebraska.
- [3] Novita, dkk., 2013, *Pengaruh Penggunaan Pati ganyong, Tapioka, dan Mocaf sebagai Bahan Substitusi terhadap Sifat Fisik Mie Jagung*. Jurnal Agritech, Vol. 33, No. 4, pp. 392.
- [4] Murtingrum, dkk., 2012, *Karakterisasi Umbi dan Pati Lima Kultur Ubi Kayu (Manihot Esculents)*, Jurnal agroteknologi, Vol. 3, No. 1, pp. 1-3.
- [5] Hidayatulloh, S., Ariawan, D., Surodjo, E., & Triyono, J., 2017, *Pengaruh Waktu Perlakuan Alkali Terhadap Kekuatan Mekanik Komposit rHDPE Serat Pelepah Salak*, SNST Proceeding Unwahas, January, 12–17.
- [6] Giuseppe, Latteri, A., Recca, G., & Cicala, 2010, *Composites Based on Natural Fibre Fabrics*. University of Catania, Department of Physical and Chemical Methodologies for Engineering, Catania Italy.
- [7] Bismarck, A. et al., 2002, *Surface Characterization of Flax, Hemp and Cellulose Fibres: Surface Properties and the Water Uptake mhbv Behavior*, Journal of Polymer Composite, Vol 23, hal 5.
- [8] Yudi, 2011, *Scanning Electron Microscope (SEM) dan Optical Emission Spectrocope (OES)*, Wordpress. Retrieved from <https://yudiprasetyo53.wordpress.com/2011/11/07/scanning-electron-microscope-sem-dan-optical-emission-spectrocope-oes/>



Hendrik Josua Pardomuan Siregar menyelesaikan studi S1 di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana pada tahun 2020. Konsentrasi penelitian yang diminati adalah karakteristik greencomposite dengan berbagai aplikasinya.

Pengaruh Lama Perendaman Serat Dan Fraksi Berat Serat Praksok (*Cordyline Australis*) Komposit Epoxy Terhadap Kekuatan Tarik Dan Kekuatan Lentur

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

Abstrak

Komposit adalah suatu material yang terdiri atas dua atau lebih bahan yang sifatnya sangat berbeda, dimana satu material berfungsi sebagai pengikat dan yang lainnya sebagai penguat. Penguat yang digunakan pada penelitian ini yaitu serat alam berupa serat praksok. Serat praksok diberi perlakuan alkali NaOH 5% selama 0, 2, dan 4 jam. Pengikat pada penelitian ini menggunakan resin Epoxy Sikadur - 52 id. Penyusunan serat yang digunakan disusun secara acak dan dibuat dengan metode hand layup dengan fraksi berat serat 0%, 5%, dan 7,5%. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini yaitu uji tarik komposit dengan standar ASTM D3039 dan uji lentur dengan standar ASTM D790. Kekuatan tarik tertinggi terdapat pada fraksi berat serat 7,5% perendaman serat 2 jam dengan nilai rata – rata tegangan tarik sebesar 27,78 MPa, sedangkan kekuatan tarik terendah terjadi pada fraksi berat serat 5% perendaman serat 0 jam dengan nilai rata – rata tegangan tarik sebesar 16,20 MPa. Nilai kekuatan lentur tertinggi terdapat pada fraksi berat serat 7,5% perendaman serat 2 jam dengan nilai rata – rata tegangan lentur sebesar 68,99 MPa, sedangkan kekuatan lentur terendah terjadi pada fraksi berat serat 0% dengan nilai rata – rata tegangan lentur sebesar 37,71 MPa.

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

Abstract

Composite is a material consisting of two or more materials with very different properties, where one material functions as a binder and the other as a reinforcement. The reinforcement used in this study is natural fiber in the form of praksok fiber. Praxok fiber was treated with 5% alkaline NaOH for 0, 2, and 4 hours. The binder in this study used Epoxy Sikadur resin -52 id. The fiber arrangement used was randomly arranged and made by hand layup method with fiber weight fraction of 0%, 5%, and 7.5%. Tests carried out in this study are the composite tensile test with the ASTM D3039 standard and the bending test with the ASTM D790 standard. The highest tensile strength is found in the fiber weight fraction of 7.5% immersion of the fiber for 2 hours with an average tensile stress value of 27.78 MPa, while the lowest tensile strength occurs in the 5% fiber weight fraction of 0 hour fiber immersion with an average tensile stress value of 16.20 MPa. The highest value of flexural strength is found in the fiber weight fraction of 7.5% immersion of fiber for 2 hours with an average value of flexural stress of 68.99 MPa, while the lowest flexural strength occurs in the fiber weight fraction of 0% with an average value of bending stress of 37.71 MPa.

Keywords: Praxok leaf fiber, fiber weight fraction, immersion time, tensile strength, flexural strength

1. Pendahuluan

Kemajuan teknologi serta isu tentang lingkungan hidup mengakibatkan penggunaan serta pemanfaatan bahan material yang berasal dari alam semakin diminati dan dikembangkan. Hal ini bertujuan untuk menggantikan bahan baku material konvensional seperti logam yang telah banyak digunakan di berbagai bidang industri, rumah tangga, transportasi, dan sebagainya. Penelitian ini diharapkan dapat menciptakan sebuah material baru ataupun mengembangkan material yang sudah ada sebelumnya. Komposit adalah suatu material yang terdiri atas dua atau lebih bahan yang sifatnya sangat berbeda, dimana satu material berfungsi sebagai pengikat dan yang lainnya sebagai penguat.

Komposit berpenguat serat alam dipandang lebih menguntungkan dibanding serat sintetis karena serat ini memiliki keunggulan seperti ringan, tidak beracun, jumlahnya banyak dan ramah lingkungan. Pemanfaatan serat alam yang ramah lingkungan

merupakan langkah bijak untuk menyelamatkan kelestarian lingkungan.

Perlakuan alkali adalah metode umum untuk membersihkan dan memodifikasi permukaan serat untuk menurunkan tegangan permukaan dan meningkatkan adhesi antarmuka antara serat alami dan matriks polimer [1]. Berdasarkan uraian di atas, peneliti melakukan penelitian pembuatan komposit, dimana menggunakan penguat serat daun praksok (*Cordyline Australis*) dan untuk bahan pengikat yaitu matrik Epoxy.

2. Metode Penelitian

2.1 Alat Penelitian

Spesimen uji lentur atau *bending* menggunakan ASTM D790, spesimen uji tarik menggunakan ASTM D3039, cetakan terbuat dari *acrylic* berbentuk segi empat.

2.2 Bahan Penelitian

Matrik yang digunakan yaitu epoxy *sikadur 52-id*, Penguat yang di gunakan adalah Serat daun Praksok yang sudah dipotong dengan ukuran 30 mm, Material perlakuan serat daun Praksok menggunakan senyawa Alkali NaOH 5%, Material pembersih cetakan menggunakan *acetone*, *Gliserin* untuk pelapisa cetakan.

2.3 Proses Pembuatan Serat Praksok

Langkah yang harus di perhatikan dalam proses pembuatan serat yaitu, memetik daun praksok dengan urutan helai daun 3-5 helai dari bawah, melakukan proses *water retting* dengan durasi waktu 1 sampai 2 minggu, lalu bersihkan dan pisahkan serat dari daun. Setelah melakukan pemisahan serat, lakukan pengukuran berat awal serat praksok sebelum di keringkan selama 24 jam. Serat praksok tersebut di timbang kembali berat akhirnya. Serat praksok diberi perlakuan NaOH 5% dengan cara di rendam selama 2 jam, 4 jam. Serat praksok di keringkan dengan cara menjemur serat tanpa paparan sinar matahari selama 24 jam. Serat kembali di timbang hingga mendapatkan berat yang konstan. Jika proses pengeringan selesai, serat praksok di potong dngan ukuran 3 cm. Gambar 1 merupakan contoh serat praksok yang belum dilakukan perendaman dengan NaOH.



Gambar 1. Serat Praksok

2.4 Perhitungan Fraksi Berat Serat

Komposisi bahan Komposit serat dan resin dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Massa Serat dan Resin

Fraksi berat serat (%)	Berat serat (gram)	Berat epoxy (gram)	Berat komposit (gram)
0	0	202,5	202,5
5	10,125	192,375	202,5
7,5	15,1875	187,3125	202,5

2.5 Proses Pembuatan Komposit

Lakukan penimbangan berat serat dan resin sesuai dengan fraksi berat 5% dan 7,5%. Lakukan pencampuran resin epoxy dan hardener sesuai dengan perbandingan fraksi berat. Tuang hasil pencampuran resin dengan hardener dan susun secara acak serat pada cetakan dengan metode *hand layup*. Tunggu selama 24 jam. Lalu setelah kering, lepaskan spesimen tersebut dari cetakan secara perlahan dan secara hati – hati agar spesimen tidak rusak. Kemudian tahap selanjutnya melakukan pemotongan sesuai standar ASTM dan pengujian spesimen

2.6 Uji Tarik

Spesimen pengujian tarik dibentuk berdasarkan ASTM D3039.

a) Tegangan Maksimum

$$\sigma_{maks} = \frac{P}{A_0} \quad (1)$$

b) Regangan yang terjadi

$$\epsilon = \frac{L-L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2)$$

c) Modulus Elastisitas yang terjadi

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

Keterangan

A_0	= Luas penampang spesimen mula-mula
$(mm^2) \epsilon$	= Regangan (%)
L_0	= Panjang spesimen sebelum pengujian (mm)
L	= Panjang spesimen setelah pengujian (mm)
E	= Modulus Elastisitas (MPa)
$\Delta \sigma$	= Selisih tegangan tarik di daerah elastis
$(Mpa) \Delta \epsilon$	= Selisih regangan di daerah elastis

2.7 Uji Lentur

Tujuan uji lentur atau *bending* dilakukan untuk mengetahui berapa besar kekuatan kelenturan dari material komposit. Spesimen uji lentur dibuat dengan standar ASTM D790 – 03.

a) Tegangan Bending

$$\sigma_l = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (4)$$

b) Regangan Bending

$$\epsilon_l = \frac{6\delta \cdot d}{L^2} \quad (5)$$

c) Modulus Elastisitas

$$E_l = \frac{L^3 \cdot m}{4b \cdot d^3} \quad (6)$$

Keterangan

σ_l	= Tegangan <i>bending</i> (MPa)
P	= Beban (N)
L	= Panjang Span (mm)
b	= Lebar benda uji (mm)
d	= Tebal benda uji (mm)
ϵ_l	= Regangan lentur (mm)
δ	= Defleksi (mm)
E_l	= Modulus elastisitas (MPa)
m	= Tangen garis lurus pada Load Deflection Curve (N/mm)

2.8 Pengamatan Permukaan Patah Dengan Mikroskop Makro

Pengamatan patahan permukaan dilakukannya setelah proses pengujian Tarik dan pengujian lentur. titik A terjadi *overload* yaitu patahan yang diakibatkan ikatan antarmuka serat dan matrik yang kuat. Pada titik B terjadi *pullout* yaitu patahan yang

diakibatkan ikatan antarmuka serat tidak kuat sehingga serat terlepas dari matriks. Pada titik C terjadi *delamination* yang disebabkan karena tingginya tegangan interlaminar. Pada titik D terjadi *matrix flow* yaitu karena matriks terlalu berlebihan sehingga terjadi pergeseran alur pada matriks [2].



Gambar 2. Mekanisme Kegagalan Pada Patahan

3. Hasil dan Pembahasan

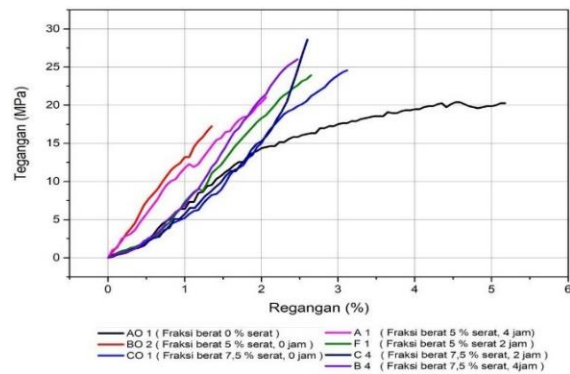
3.1 Uji Tarik

Pada tabel 2 di tunjukan hasil dari kekuatan tarik berupa tegangan maksimum, regangan maksimum dan modulus elastisitas komposit epoxy diperkuat serat praksok.

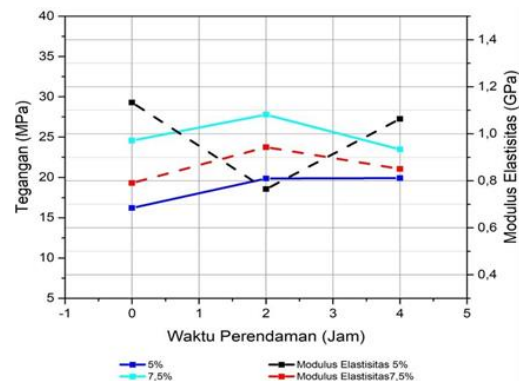
Tabel 2. Perhitungan Kekuatan Tarik

Pengujian Tarik Komposit			
Fraksi Berat Serat 0 %			
No.	σ (MPa)	ϵ (%)	E(GPa)
Spesimen 1	20,38	4,59	0,47
Spesimen 2	20,25	5,18	0,44
Spesimen 3	18,82	4,29	0,49
Rata- Rata	19,82	4,69	0,47
Fraksi Berat Serat 5 %, Perlakuan NaOH 0 Jam			
No.	σ (MPa)	ϵ (%)	E(GPa)
Spesimen 1	16,46	1,65	1,01
Spesimen 2	14,90	1,76	1,07
Spesimen 3	17,25	1,35	1,32
Rata- Rata	16,20	1,59	1,13
Fraksi Berat Serat 7,5 %, Perlakuan NaOH 0 Jam			
No.	σ (MPa)	ϵ (%)	E(GPa)
Spesimen 1	23,65	2,29	1,03
Spesimen 2	24,57	3,12	0,79
Spesimen 3	23,78	2,18	1,09
Rata- Rata	24,00	2,53	0,97
Fraksi Berat Serat 5 %, Perlakuan NaOH 4 Jam			
No.	σ (MPa)	ϵ (%)	E(GPa)
Spesimen 1	21,04	2,06	1,16
Spesimen 2	17,90	1,71	1,04
Spesimen 3	20,78	2,35	0,99
Rata- Rata	19,91	2,04	1,06
Fraksi Berat Serat 5 %, Perlakuan NaOH 2 Jam			
No.	σ (MPa)	ϵ (%)	E(GPa)
Spesimen 1	26,00	2,47	1,00
Spesimen 2	24,30	2,29	0,82
Spesimen 3	24,70	2,18	1,20
Rata- Rata	25,00	2,31	1,01
Fraksi Berat Serat 7,5 %, Perlakuan NaOH 2 Jam			
No.	σ (MPa)	ϵ (%)	E(GPa)
Spesimen 1	28,22	2,71	0,91
Spesimen 2	26,53	2,18	1,11
Spesimen 3	28,62	2,29	0,81
Rata- Rata	27,79	2,39	0,94
Fraksi Berat Serat 7,5 %, Perlakuan NaOH 4 Jam			
No.	σ (MPa)	ϵ (%)	E(GPa)
Spesimen 1	23,91	2,65	0,77
Spesimen 2	22,74	2,18	1,08
Spesimen 3	23,78	2,29	0,70
Rata- Rata	23,48	2,37	0,85

Berdasarkan data diatas, terdapat grafik hubungan antara kekuatan tarik, regangan tarik dan modulus elastisitas dengan variasi fraksi berat dan waktu perendaman serat sebagai berikut :



Gambar 2. Grafik Kekuatan Tarik Komposit



Gambar 3. Grafik Pengaruh Waktu Perendaman Serat Terhadap Kekuatan Tarik Komposit

Waktu perendaman selama 2 jam pada perlakuan serat kelapa sawit dengan NaOH 5% menghasilkan kekuatan tarik tertinggi. Panjang dan diameter serat juga mempengaruhi kekuatan mekanis komposit. Kekuatan tarik tertinggi pada komposit serat pisang/phenol diperoleh dari Panjang serat pisang 30 mm [3].

Dinyatakan pada gambar 2 kekuatan tarik komposit meningkat seiring bertambahnya fraksi berat setelah diberi perlakuan alkali. Kekuatan Tarik tertinggi di peroleh dari fraksi berat serat 7,5%. Dijelaskan pada gambar 3 dapat dinyatakan kekuatan tarik menurun pada waktu perendaman 0 jam dan 4 jam. Nilai terendah kekuatan tarik terdapat pada fraksi berat serat 5% perendaman serat 0 jam dengan nilai rata-rata kekuatan tarik sebesar 16,203 MPa. Pada perendaman serat 2 jam kekuatan tarik yang dihasilkan merupakan yang terbesar di setiap variasi fraksi berat komposit. pada fraksi berat 7,5% diperoleh kekuatan tarik maksimum komposit dengan rata- rata kekuatan tarik sebesar 27,788 MPa. Pada perendaman serat 4 jam dapat dilihat bahwa kekuatan tarik dari fraksi berat serat 5% dan 7,5% mengalami penurunan nilai kekuatan tarik. Pada fraksi berat 5% perendaman 4 jam didapatkan nilai rata-rata kekuatan tarik sebesar 19,907 MPa dan meningkat pada fraksi berat 7,5% dengan nilai rata-rata kekuatan tarik sebesar 23,477 Mpa, hal ini di akibatkan oleh adanya *Pullout* dan *Overload* merata terlihat dalam patahan. Hal tersebut merupakan

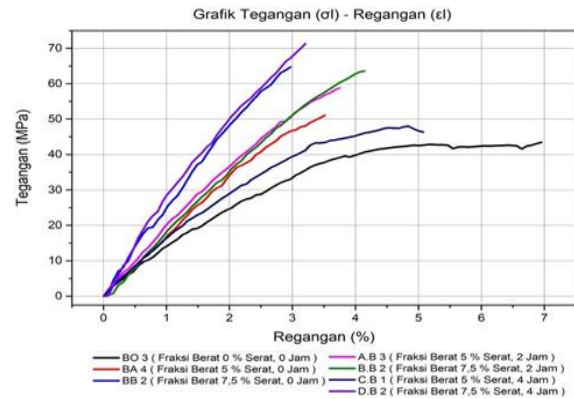
indikator ikatan *crosslinking* yang baik disertai oleh orientasi serat acak yang baik. Pada fraksi berat serat 0% memiliki nilai rata-rata regangan tertinggi sebesar 4,686%. Pada perendaman 0 jam diperoleh nilai rata-rata regangan terendah komposit sebesar 1,588%. Dilihat pada foto makro, semakin besar fraksi berat serat maka terjadi patahan yang bersifat *overload* dimana terjadi ikatan antara serat dengan matrik yang kuat. Menurut [4], patahan *overload* terjadi secara merata terjadi pada fraksi volume 30% dimana pada fraksi volume 30% memiliki kekuatan tarik tertinggi.

Modulus elastisitas terendah diperoleh pada fraksi berat 0% dengan nilai rata-rata 0,465 GPa. Pada perendaman 0 jam diperoleh nilai rata-rata modulus elastisitas tertinggi senilai 1,133 GPa

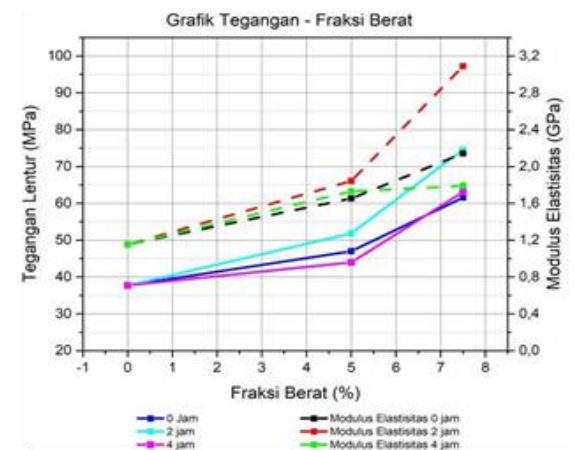
3.2 Pengujian Lentur

Tabel 3. Perhitungan Kekuatan Lentur Komposit

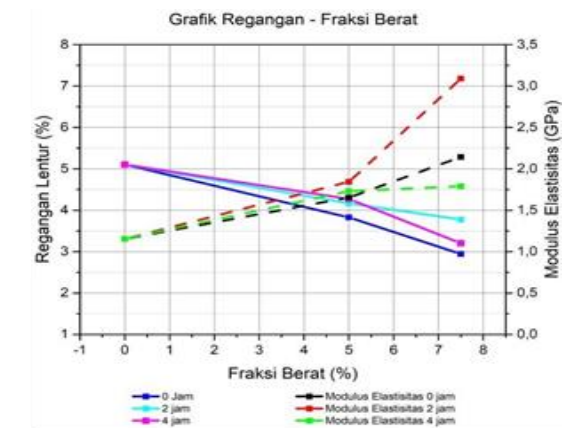
Pengujian Bending Komposit			
Fraksi Berat Serat 0 %			
No.	σ (MPa)	ϵ (%)	E(GPa)
Spesimen 1	37,471	5,000	0,900
Spesimen 2	32,224	3,359	1,020
Spesimen 3	43,460	6,953	1,540
Rata- Rata	37,718	5,104	1,153
Fraksi Berat Serat 5 %, Perlakuan NaOH 5% 0 Jam			
No.	σ (MPa)	ϵ (%)	E(GPa)
Spesimen 1	46,515	3,750	1,910
Spesimen 2	43,460	4,219	1,360
Spesimen 3	51,083	3,516	1,690
Rata- Rata	47,019	3,828	1,653
Fraksi Berat Serat 7,5 %, Perlakuan NaOH 5% 0 Jam			
No.	σ (MPa)	ϵ (%)	E(GPa)
Spesimen 1	62,041	2,969	2,200
Spesimen 2	57,843	2,891	1,490
Spesimen 3	64,757	2,969	2,740
Rata- Rata	61,547	2,943	2,143
Fraksi Berat Serat 5 %, Perlakuan NaOH 5% 2 Jam			
No.	σ (MPa)	ϵ (%)	E(GPa)
Spesimen 1	60,837	3,672	2,170
Spesimen 2	55,411	4,063	1,610
Spesimen 3	61,640	4,141	1,750
Rata- Rata	59,296	3,958	1,843
Fraksi Berat Serat 7,5 %, Perlakuan NaOH 5% 2 Jam			
No.	σ (MPa)	ϵ (%)	E(GPa)
Spesimen 1	71,301	3,203	2,910
Spesimen 2	65,004	2,734	3,450
Spesimen 3	70,683	3,594	2,880
Rata- Rata	68,996	3,177	3,080
Fraksi Berat Serat 5 %, Perlakuan NaOH 5% 4 Jam			
No.	σ (MPa)	ϵ (%)	E(GPa)
Spesimen 1	47,997	5,078	1,640
Spesimen 2	41,299	3,438	1,580
Spesimen 3	39,570	4,063	1,970
Rata- Rata	42,955	4,193	1,730
Fraksi Berat Serat 7,5 %, Perlakuan NaOH 5% 4 Jam			
No.	σ (MPa)	ϵ (%)	E(GPa)
Spesimen 1	63,584	4,141	1,780
Spesimen 2	48,738	3,672	1,600
Spesimen 3	53,614	3,047	1,990
Rata- Rata	55,312	3,620	1,790



Gambar 4. Grafik Kekuatan Lentur Komposit



Gambar 5. Grafik Pengaruh Fraksi Berat Terhadap Kekuatan Lentur Komposit



Gambar 6. Grafik Pengaruh Waktu Perendaman Serat Terhadap Kekuatan Lentur Komposit

Menurut [5], Kekuatan lentur meningkat di disebabkan dengan adanya pengikat yang lebih sehingga komposit tidak hanya bertumpu pada serat saja. Besarnya fraksi berat serat memiliki pengaruh terhadap kekuatan lentur dari sebuah komposit [6].

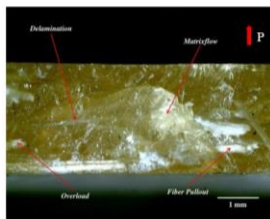
Dijelaskan pada gambar 4 Nilai kekuatan lentur rata-rata terendah terdapat di fraksi berat serat 0% senilai 37,718 MPa. Dijelaskan pada gambar 5. pada perendaman serat 2 jam didapat nilai kekuatan lentur sebesar 59,296 MPa pada fraksi berat 5% dan nilai kekuatan maksimum komposit pada fraksi berat

7,5% sebesar 68,996 MPa. Pada perendaman fraksi berat 4 jam didapat penurunan nilai rata-rata dibandingkan dengan perendaman 0 jam pada fraksi berat 5% dan perendaman serat 2 jam pada fraksi berat 5% dan 7,5%. Pada fraksi berat 5% perendaman serat 4 jam didapat nilai rata-rata sebesar 42,955 MPa dan meningkat menjadi 55,312 MPa pada fraksi berat 7,5% perendaman serat 4 jam.

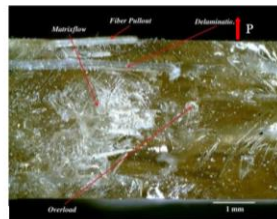
Pada komposit perendaman 0 jam didapatkan hasil 3,828% pada fraksi berat 5% dan menurun pada fraksi berat 7,5% dengan nilai 2,943% yang merupakan regangan terendah. Pada perendaman 2 jam didapatkan hasil dengan nilai 3,958% dan menurun pada fraksi berat 7,5% dengan nilai 3,177%. Pada perendaman 4 jam didapatkan hasil dengan nilai 4,193% dan menurun pada fraksi berat 7,5% dengan nilai 3,620%.

Dinyatakan pada gambar 6, nilai rata-rata modulus elastisitas meningkat seiring dengan meningkatnya fraksi berat. Hal ini disebabkan oleh peningkatan rasio tegangan lentur terhadap regangan lentur, sehingga nilai modulus elastisitas akan meningkat.

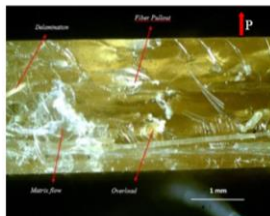
3.3 Foto Makro Patahan



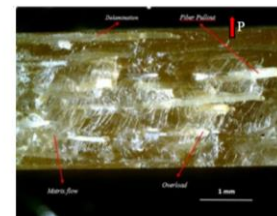
Gambar 7. Foto Makro Patahan Komposit Fraksi Berat 5% Perlakuan 0 jam



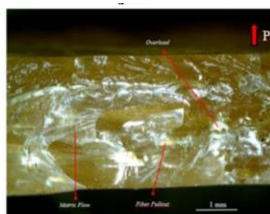
Gambar 8. Foto Makro Patahan Komposit Fraksi Berat 7,5% Perlakuan 0 jam



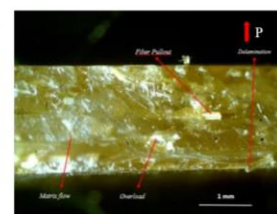
Gambar 9. Foto Makro Patahan Komposit Fraksi Berat 5% Perlakuan 2 jam



Gambar 10. Foto Makro Patahan Komposit Fraksi Berat 7,5% Perlakuan 2 jam



Gambar 11. Foto Makro Patahan Komposit Fraksi Berat 5% Perlakuan 4 jam



Gambar 12. Foto Makro Patahan Komposit Fraksi Berat 7,5% Perlakuan 4 jam

Berdasarkan pada gambar 1, patahan pada komposit dengan perendaman serat selama 0 jam fraksi berat 5% didominasi oleh *matriks flow* sebesar 44,76%. Hal tersebut diakibatkan oleh kurangnya serat pada area patahan serta terdapat beberapa delaminasi yang ditimbulkan

karena orientasi serat acak. Selain itu terdapat lebih banyak *fiber pullout* dibandingkan overload pada patahan, hal tersebut merupakan indikator kurang baiknya ikatan *crosslinking* yang terjadi. Faktor-faktor yang disebutkan tadi mengakibatkan kurangnya efektifitas komposit dalam menyebarkan tegangan sehingga akan menghasilkan nilai kekuatan tarik yang lebih rendah. Begitupun halnya pada gambar 8, komposit fraksi berat 7,5% dengan perendaman 0 jam didominasi oleh *matriks flow* sebesar 34,22%. Delaminasi yang timbul lebih banyak dibandingkan pada fraksi berat 5%, tetapi memiliki lebih sedikit *fiber pullout* dan lebih banyak *overload*. Pada gambar 9, komposit fraksi berat 5% dengan perendaman 2 jam didapat matriks flow sebesar 55,36%, selain itu terdapat beberapa *Pullout* dan Delaminasi yang mendominasi patahan. Dibandingkan oleh komposit fraksi berat 5% dengan perendaman 0 jam. Hal tersebut diakibatkan karena kurangnya serat, sehingga mengakibatkan ruang kosong tanpa ikatan *matriks* dan serat banyak ditemui yang mengakibatkan nilai kekuatan menjadi lebih rendah. Selanjutnya dapat dilihat pada gambar 10, komposit fraksi berat 7,5% terdapat *matriks flow* sebesar 42,64% yang mendominasi, selain itu *Pullout* dan *Overload* juga merata terlihat dalam patahan. Hal tersebut merupakan indikator ikatan *crosslinking* yang baik disertai oleh orientasi serat acak yang baik. Kekuatan tarik yang dihasilkan akan menjadi optimum. Untuk gambar 11, komposit fraksi berat 5% perendaman serat 4 jam terdapat beberapa *fiber pullout* dan beberapa *delaminasi* dan didominasi oleh *matriks flow* sebesar 54,54% *matriks flow*. Hal tersebut diakibatkan oleh degradasi sifat mekanis serat, dimana perendaman yang lebih lama dapat merusak sel selulosa pada serat. Pada gambar 12, komposit fraksi berat 7,5% perendaman-serat 4 jam didominasi matriks flow yang mendominasi, selain itu *Pullout* dan *Overload* juga merata terlihat dalam patahan. Hal tersebut merupakan indikator ikatan *crosslinking* yang baik disertai oleh orientasi serat acak yang baik

Pengamatan hasil patahan menyatakan bahwa perendaman serat optimal adalah perendaman serat 2 jam. Hal ini dinyatakan oleh tidak adanya *fiber pullout* dan terjadinya *overload* yang lebih banyak dibandingkan variasi lainnya. Untuk Perendaman serat 0 jam komposit memiliki ikatan *crosslinking* yang kurang baik sedangkan perendaman serat 4 jam serat mulai terdegradasi sehingga serat menjadi rapuh dan tidak dapat berikatan dengan baik akibat adanya perlakuan alkali yang lebih lama.

5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan pada bab sebelumnya dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- 1 Pada variasi perendaman serat 0 jam dan 4 jam, kekuatan tarik mengalami penurunan pada fraksi berat 5% dan meningkat pada fraksi berat 7,5%. Kekuatan tarik tertinggi terdapat pada fraksi berat serat 7,5% perendaman serat 2 jam dengan nilai rata – rata tegangan tarik sebesar 27,788 MPa, sedangkan kekuatan tarik terendah terjadi pada fraksi berat serat 5% perendaman serat 0 jam dengan nilai rata – rata tegangan tarik sebesar 16,203 MPa.
- 2 Nilai kekuatan lentur tertinggi terdapat pada fraksi berat serat 7,5% perendaman serat 2 jam dengan nilai rata – rata tegangan lentur sebesar 68,996 MPa, sedangkan kekuatan lentur terendah terjadi pada fraksi berat serat 0% dengan nilai rata – rata tegangan lentur sebesar 37,718 MPa.



Daftar Pustaka

- [1] Bachtiar, D., Sapuan S.M., Hamdan M.M., 2008, *The Effect of Alkaline Treatment on Tensile Properties of Sugar Palm Fibre Reinforced Epoxy Composites*, Materials and Design. No. 29, pp.1285–1290.
- [2] Brooks, C. R. dan Choudhury, A. , 2002, *Failure Analysis of Engineering Materials*, New York: McGraw-Hill.
- [3] Surata, I. W., Dwidiani, N. M., Alfano, P. O., 2012, *Pengaruh Fraksi Volume Serat Terhadap Sifat Tarik dan Lentur Komposit Berpenguat Serat Rami dengan Matriks Polyester*, Jurnal. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana Kampus Bukit Jimbaran, Bali – 80361.
- [4] Astika, I. M. dan Dwijana, I. G. K., 2014, *Karakteristik Sifat Tarik dan Mode Patahan Komposit Polyester Berpenguat Serat Tapis Kelapa*, Dinamika Teknik Mesin, Vol. 4, No.2.
- [5] Priyahapsara, I. dan Assihhaly, I. R., 2017, *Pengaruh Variasi Fraksi Volume Komposit Serat E- Glass ± 45 • Polyester 157 Bqtn Terhadap Kekuatan*, Jurnal Science Tech, Vol. 3, No. 2, pp. 85–92.
- [6] Sudiarsa, I. G., Nindhia, T. G. T., & Surata, I. W., 2018, *Pengaruh Fraksi Berat Serat Sabut Kelapa Terhadap Kekuatan Tarik Dan Lentur Komposit Polyester*, Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika, Vol. 7, No. 2, pp. 109–114.

Pengaruh Fraksi Berat Dan Waktu Perendaman Serat Pada Air Laut Terhadap Kekuatan Tarik Dan Kekuatan Lentur Komposit Epoxy Serat Praksok (*Cordyline Australis*)

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

Abstrak

Komposit didesain untuk menjadi material alternatif pengganti logam. Unsur utama dari komposit adalah serat dan matriks, serat adalah sumber dari kekuatan dan kekakuan pada komposit. Pada penelitian ini digunakan serat alam yaitu serat praksok. Serat direndam pada air laut selama 0, 2, dan 4 jam. Resin yang digunakan merupakan resin epoxy dengan merek sikadur 52-id. Komposit menggunakan serat daun praksok dengan panjang 3 cm dan disusun secara acak menggunakan metode hand lay-up dengan fraksi berat serat 0%, 5%, dan 7,5%. Spesimen pengujian tarik komposit menggunakan standar ASTM D3039 dan uji lentur menggunakan ASTM D790. Hasil penelitian menunjukkan kekuatan tarik dan kekuatan lentur tertinggi terjadi pada fraksi berat serat 7,5% perendaman serat 2 jam dengan nilai rata-rata kekuatan tarik sebesar 31,316 MPa dan kekuatan lentur sebesar 74,552 MPa. Pada pengamatan foto makro patahan, ikatan serat dan matriks terbaik terdapat pada variasi perendaman serat 2 jam sehingga kekuatan tarik dan lentur dapat dihasilkan secara optimum. Ikatan serat dan matriks yang baik ditandai dengan terdapatnya overload pada patahan..

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

Abstract

Composites are designed to be an alternative material made of metal; the material is lightweight, corrosion resistant and inexpensive. The main element of a composite is a fiber and matrix, fiber is a material that provides strength and stiffness in a composite. In this study natural fibers such as praksok (*cordyline australis*) fiber are used. The fiber is submerged in sea water for 0, 2, and 4 hours with 3 cm fiber length. The resin used is epoxy resin with the brand sikadur 52-id. Composite was made with random fiber orientation by hand lay-up method with weight fraction of 0%, 5%, and 7.5%. Composite tensile testing using ASTM D3039 standard and flexural testing using ASTM D790. The results of the study of the praksok leaf fiber reinforced composites with fiber weight fraction of 0%, 5%, and 7.5%, therefore highest tensile and flexural strength were occurred at 7.5% fiber weight fraction of 2 hour fiber immersion with an average tensile strength value of 31.316 MPa and flexural strength value of 74.552 MPa. In the observation of fracture macro photos, the best cross-linking bond is found in the variation of fiber immersion for 2 hours so that tensile and flexural strength occur optimally.

Keywords: Praksok leaf fiber, fiber weight fraction, fiber immersion time, tensile strength, flexural strength.

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi komposit sangat berpengaruh pada industri manufaktur. Komposit didesain untuk menjadi material alternatif pengganti logam, komposit memiliki beberapa keunggulan dari logam seperti; materialnya ringan, tahan korosi dan murah. Komposit memiliki *strength to weight ratio* yang lebih baik dari logam, sehingga komposit cocok untuk menjadi material alternatif pengganti logam [1]. Komposit adalah material yang terdiri dari campuran 2 atau lebih material yang memiliki sifat fisik dan kimia yang berbeda. Komposit tersusun dari matriks dan serat atau *fiber (reinforcement)*. Diperlukan teknologi komposit baru dimana material dari komposit itu dibuat agar ramah lingkungan seperti memanfaatkan serat alam dibandingkan dengan serat sintesis. Dimana dengan menggunakan serat alam ditujukan untuk meminimalisir kontaminasi lingkungan, emisi gas efek rumah kaca, dan memaksimalkan penggunaan sumber daya alam. Serat alam yang digunakan untuk *reinforcement* dari komposit merupakan serat yang didapat melalui

proses ekstraksi dari tumbuhan, salah satu proses ekstraksi yang umum digunakan adalah *waterretting*. Sifat suatu material komposit dapat ditentukan oleh komposisi serat yang terkandung didalamnya, bahwa semakin banyak serat yang terdapat didalamnya maka kekuatan mekaniknya semakin besar. Peningkatan kekuatan dan kekakuan dapat dicapai dengan memvariasikan fraksi berat serat dan mengontrol ikatan antara lapisan komposit [2]. Perlakuan kimia seperti perendaman serat pada larutan alkali sering kali digunakan pada penelitian komposit berserat alam. Penggunaan larutan alkali pada perendaman serat alam berfungsi untuk melepaskan /membersihkan lapisan lilin (*lignin*) pada permukaan serat alam. Lapisan lilin dihilangkan untuk meningkatkan ikatan serat dengan matriks sehingga menghasilkan sifat mekanis komposit yang lebih baik [3]. Penelitian ini mengacu pada pembuatan komposit berpenguat serat *cordyline australis* dengan matriks epoxy sebagai pengikat. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan data ilmiah mengenai pengaruh waktu perendaman air laut terhadap perubahan sifat-sifat

mekanis serat pembentuk material komposit, serta pengaruh fraksi berat terhadap peningkatan nilai kekuatan tarik dan kekuatan lentur komposit. Metode penelitian ini dimulai dengan pemisahan (ekstraksi) daun menjadi serat, pembuatan spesimen dengan metode pencetakan dengan teknik *hand lay-up*, dilanjutkan dengan pengujian uji tarik ASTM D3039 dan uji lentur ASTM D790-03.

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

1. Bagaimana pengaruh perlakuan perendaman serat pada air laut dan fraksi berat serat terhadap kekuatan tarik komposit *epoxy* serat *cordyline australis* yang dicetak dengan teknik *hand lay-up*?
2. Bagaimana pengaruh perlakuan perendaman serat pada air laut dan fraksi berat serat terhadap kekuatan lentur komposit *epoxy* serat *cordyline australis* yang dicetak dengan teknik *hand lay-up*?

2. Dasar Teori

2.1. Komposit

Komposit merupakan sistem material yang tersusun dari dua atau lebih kombinasi unsur pokok yang memiliki komposisi kimia yang berbeda dan pada dasarnya tidak larut satu sama lain [4]. Komposit memiliki kekuatan jenis (modulus elastisitas /density) dan kekuatan jenis lebih tinggi dibandingkan logam. Serat berfungsi sebagai rangka dan matriks sebagai pengisi dari rangka dan pengikat serat. Matriks juga berfungsi sebagai komponen pada komposit yang meneruskan beban eksternal ke serat secara merata. Penggabungan matriks dengan serat alam membutuhkan ikatan permukaan yang kuat agar reaksi yang terjadi dapat serasi dan saling berhubungan antara satu dengan yang lainnya. Sifat pengikatan ini dapat ditingkatkan dengan perlakuan kimia pada serat alam [5].

2.2. Serat (Penguat)

Serat Merupakan bahan utama dari komposit, fungsi serat umumnya adalah sebagai rangka material untuk memperkuat komposit sehingga sifat sifat mekaniknya lebih kuat, kaku, tangguh, dan lebih kokoh bila dibandingkan dengan tanpa serat penguat [6]. Serat dikalsifikasikan menjadi dua jenis yaitu: serat sintetis dan serat alami.

1) Serat Alam

Serat alam merupakan serat yang diperoleh dari tumbuhan, hewan, dan mineral melalui sebuah proses maupun secara langsung. Serat alam dapat digunakan sebagai komponen dari komposit, dan orientasi serat tersebut akan berdampak pada sifat fisik dari komposit tersebut.

2) Serat Sintetis

Serat sintetis (buatan) merupakan serat yang memiliki susunan molekul yang tersusun secara disengaja yang dibuat oleh manusia melalui suatu proses kimia. Komposit serat sintetis memberikan kekuatan dan keuletan yang lebih dibandingkan komposit serat alam. komposit serat alam memiliki keterbatasan pada aplikasi tertentu dikarenakan kemampuan serat alaminya yang dapat menyerap kelembaban dan stabilitas thermal yang lebih rendah dari serat sintetis [7].

2.3. Matriks (Resin)

Matriks (resin) adalah material penyusun komposit dimana matriks ini berfungsi sebagai perekat serat, pelindung serat, dan mentransfer beban dari serat ke serat lainnya. Resin akan saling mengikat dengan material serat sehingga beban yang dikenakan pada komposit menyebar secara merata. Matriks memiliki kekerasan, kekakuan, keuletan yang lebih rendah dibandingkan serat. Resin dibagi menjadi dua jenis berdasarkan bahan pembuatnya, yaitu: resin sintetis dan resin alami (bioresin).

2.4. Serat *Cordyline Australis*

Serat *Cordyline Australis* merupakan serat yang bisa didapatkan dari tumbuhan *Cordyline Australis* dimana tanaman ini dikenal dengan tanaman Praksok. Tanaman yang bersalan dari New Zealand, Australia ini merupakan tanaman hias yang sering digunakan untuk mempercantik rumah dan di Bali biasanya tanaman praksok dimanfaatkan seratnya untuk dijadikan kerajinan seperti rambut pada barong atau rangda. Tinggi pohon praksok bisa mencapai 12 meter dengan panjang daun yang mampu mencapai 1 meter. Serat diperoleh dengan menggunakan metode ekstraksi serat yang disebut *water retting* dimana metode jenis ini menggunakan media air sebagai pemisah serat dengan unsur lainnya seperti ditunjukkan pada gambar 1. Untuk daun yang baik dimanfaatkan pada pembuatan serat adalah daun ke 3 sampai ke 5 pada pohon praksok yang diukur dari daun paling bawah, dikarenakan daun pada urutan tersebut akan lebih mudah di proses menjadi serat dikarenakan umur daun yang lebih muda. Masing-masing Serat praksok akan dipotong menjadi 3 cm untuk di cetak pada komposit sesuai dengan fraksi berat serat yang telah ditentukan.



Gambar 1. Serat Prasok (*Cordyline Australis*)

2.5. Resin Epoxy

Resin epoksi (*epoxy resin*) atau secara umum dipasaran dikenal dengan bahan epoksi adalah salah satu dari jenis polimer yang berasal dari kelompok termoset. Resin termoset adalah polimer cair yang diubah menjadi bahan padat secara polimerisasi jaringan silang dan juga secara kimia, membentuk formasi rantai polimer tiga dimensi. Sifat mekanisnya tergantung pada unit molekuler yang membentuk jaringan rapat dan panjang jaringan silang. Proses pembuatannya dapat dilakukan pada suhu kamar dengan memperhatikan zat-zat kimia yang digunakan sebagai pengontrol polimerisasi jaringan silang agar didapatkan sifat optimum bahan.

Termoset memiliki sifat isotropis dan peka terhadap suhu, mempunyai sifat tidak bisa meleleh, tidak bisa diolah kembali, atomnya berikatan dengan kuat, tidak bisa mengalami pergeseran rantai. Bentuk resin epoksi sebelum pengerasan berupa cairan seperti madu dan setelah pengerasan akan berbentuk padatan yang sangat getas [8].

2.6. Metode Pencetakan Komposit

Terdapat dua jenis cara pembuatan komposit, proses cetakan terbuka (*open-mold process*) dan cetakan tertutup (*Closed-mold process*). Dalam penelitian ini digunakan proses cetakan terbuka yaitu dengan metode *hand lay-up*. Metode pencetakan *hand lay-up* diawali dengan pemerataan serat pada cetakan, lalu penuangan resin pada cetakan dan didiamkan selama 24 jam dengan diberikan beban seberat 5 kg pada tutupnya.

2.7. Air Laut

Air adalah substansi yang paling banyak terdapat di bumi. Laut di Bumi memiliki volume sebesar 1.335.000.000 kilometer kubik yang mencakup sekitar 96,5% dari seluruh air di Bumi yang diketahui dan meliputi lebih dari 70% permukaan Bumi [9]. Air laut memiliki enam komposisi terbesar yaitu adalah chloride (Cl⁻), sodium (Na⁺), sulfate (SO₄⁻), magnesium (Mg²⁺), calcium (Ca²⁺), and potassium (K⁺) (Duxbury & History, 2018). Akan tetapi komposisi ini sangat bervariasi sebab adanya penambahan unsur lain dari sungai, penguapan, hujan, dan lain-lain.

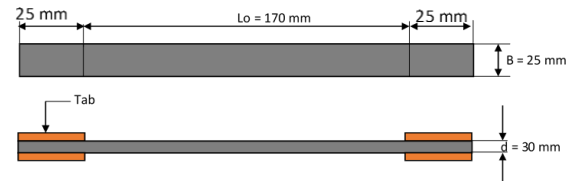
2.8. Fraksi Berat

Untuk menentukan jumlah serat daun praksok yang digunakan dapat menggunakan fraksi volume (Fv) dan fraksi berat (Fb). Pada penelitian ini digunakan fraksi berat kering dengan persamaan sebagai berikut:

$$w_c = w_f + w_m, F_b = \frac{w_f}{w_c} \times 100\% \quad (1)$$

2.9. Uji Tarik

Uji tarik merupakan pengujian material yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik, tegangan dan regangan. Pada pengujian ini dilakukan pengamatan terhadap pertambahan beban dan pertambahan panjang selama pengujian. Spesimen pengujian tarik didesain berdasarkan ASTM D3039 yang ditunjukkan pada gambar 2.



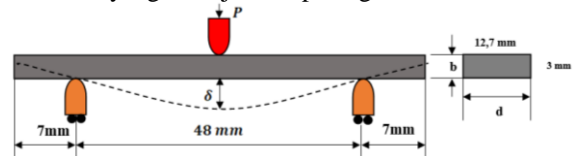
Gambar 2. Spesimen Uji Tarik

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

$$\sigma = \frac{P}{A_0}, \varepsilon = \frac{L-L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0}, E = \frac{\sigma_y}{\varepsilon_y} \quad (2)$$

2.10. Uji Lentur

Uji lentur merupakan pengujian yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan terhadap bending atau pembengkokan. Pada pengujian ini menggunakan metode threepoint bending menggunakan jenis tumpuan jepit - jepit. Spesimen yang akan diuji akan mengalami tegangan tekan pada bagian atas dan tegangan tarik pada bagian bawahnya yang akan didapat beban oleh benda uji sebelum terjadi patahan. Spesimen uji lentur dibuat sesuai standar ASTM D790-03 yang ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Spesimen Uji Lentur

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

$$\sigma_b = \frac{3Pl}{2bd^2}, \varepsilon_l = \frac{6\delta \cdot d}{L^2}, E = \frac{l^3m}{4bd^3} \quad (3)$$

2.11. Pengamatan Permukaan Patah



Gambar 4. Pengamatan Permukaan Patah

Pada gambar 4 (A) *overload*, merupakan patahan dari serat yang berhasil terikat dengan matriks dan letaknya sejajar dengan arah dari gaya tarik. (B) *Fiber pull-out*, merupakan serat yang tidak terikat atau

memiliki ikatan yang kurang baik dengan matriks. (C) *delamination* disebabkan karena tingginya tegangan *interlaminar*. (D) *matriks flow*, merupakan patahan matriks yang menyebabkan terjadinya pergeseran alur pada matriks.

3. Metode Penelitian

3.1. Alat-alat Penelitian

Penggunaan alat-alat dalam penelitian ini sebagai berikut :

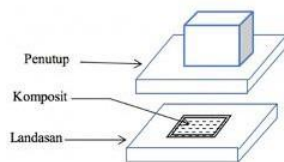
1. Spesimen Uji Tarik ASTM D3039
2. Spesimen Uji Lentur ASTM D790
3. Mikroskop Optik
4. Cetakan Akrilik
5. Timbangan Digital

3.2. Bahan-bahan Penelitian

1. Serat Daun Praksok (*Cordyline Australis*)
2. Epoxy Sikadur 52-id
3. Air Laut

3.3. Prosedur Penelitian

1. Siapkan daun praksok, diambil dari daun dengan urutan 3-5 dari yang paling bawah untuk memudahkan proses ekstraksi.
2. Proses ekstraksi daun praksok menjadi serat menggunakan teknik *waterretting*. Serat dipotong menjadi 3 cm.
3. Siapkan cetakan akrilik dengan ukuran cetakan 25 cm x 25 cm dan tebal 3 mm. skema pencetakan komposit ditunjukkan pada gambar 4
4. Tata serat pada cetakan secara acak dan merata pada cetakan sesuai dengan jumlah serat dengan perhitungan fraksi berat.
5. Tuangkan matriks epoxy sikadur 52-id pada cetakan sesuai dengan perhitungan fraksi berat.
6. Cetakan ditutup dan diberi beban pemberat 5 kg selama 24 jam.
7. Lepaskan Komposit yang telah dicetak dengan hati-hati.
8. Potong komposit sesuai dengan ukuran spesimen untuk uji tarik dan uji lentur.
9. Spesimen pengujian tarik dengan standar ASTM D 3039. Data beban diambil setiap 0,1 mm pertambahan panjang.
10. Spesimen pengujian lentur dengan standar ASTM D790-03. Data beban diambil setiap 0,1 mm pertambahan panjang.



Gambar 5 Skema Pencetakan Komposit

4. Hasil Dan Pembahasan

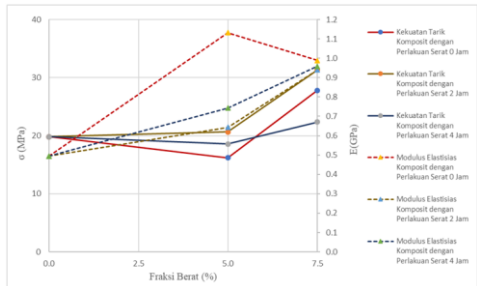
4.1. Uji Tarik

Data hasil uji tarik untuk semua perlakuan dan fraksi berat serat disajikan pada tabel 1.

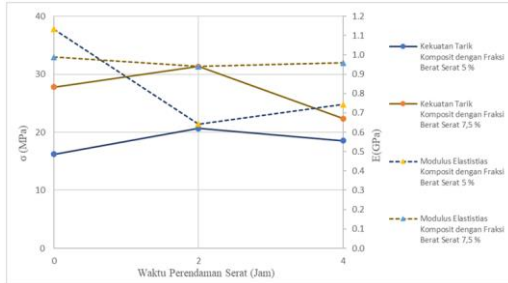
Tabel 1. Data hasil uji tarik

Pengujian Tarik Komposit										
Fraksi Berat Serat 0 %										
No.	A_0 (mm ²)	L_0 (mm)	P (N)	ΔL (mm)	σ_t (MPa)	ϵ_t (%)	σ (MPa)	ϵ (%)	E(GPa)	
O 1	75	170	1519,0	8,8	20,253	4,353	20,384	4,588	0,465	
O 2	75	170	1519,0	8,8	17,117	3,882	20,253	5,176	0,441	
O 3	75	170	1411,2	7,3	15,941	2,765	18,816	4,294	0,577	
Rata- Rata								19,818	4,686	0,494
Fraksi Berat Serat 5 %, Perendaman Air Laut 0 Jam										
No.	A_0 (mm ²)	L_0 (mm)	P (N)	ΔL (mm)	σ_t (MPa)	ϵ_t (%)	σ (MPa)	ϵ (%)	E(GPa)	
A 0	75	170	1234,8	2,8	16,464	1,647	16,464	1,647	1,000	
A 1	75	170	1117,2	3,0	13,197	1,235	14,896	1,765	1,068	
A 2	75	170	1293,6	2,3	17,248	1,353	17,248	1,353	1,275	
Rata- Rata								16,203	1,588	1,114
Fraksi Berat Serat 7,5 %, Perendaman Air Laut 0 Jam										
No.	A_0 (mm ²)	L_0 (mm)	P (N)	ΔL (mm)	σ_t (MPa)	ϵ_t (%)	σ (MPa)	ϵ (%)	E(GPa)	
B 0	75	170	2116,8	4,6	28,224	2,706	28,224	2,706	1,043	
B 1	75	170	1989,4	3,7	26,525	2,176	26,525	2,176	1,219	
B 3	75	170	2146,2	3,9	28,616	2,294	28,616	2,294	1,247	
Rata- Rata								27,788	2,392	1,170
Fraksi Berat Serat 5 %, Perendaman Air Laut 2 Jam										
No.	A_0 (mm ²)	L_0 (mm)	P (N)	ΔL (mm)	σ_t (MPa)	ϵ_t (%)	σ (MPa)	ϵ (%)	E(GPa)	
C 0	75	170	1597,4	3,7	21,299	2,176	21,299	2,176	0,979	
C 2	75	170	1538,6	3,8	20,515	2,235	20,515	2,235	0,918	
C 3	75	170	1509,2	4,5	8,363	1,412	20,123	2,647	0,592	
Rata- Rata								20,645	2,353	0,830
Fraksi Berat Serat 7,5 %, Perendaman Air Laut 2 Jam										
No.	A_0 (mm ²)	L_0 (mm)	P (N)	ΔL (mm)	σ_t (MPa)	ϵ_t (%)	σ (MPa)	ϵ (%)	E(GPa)	
D 0	75	170	1675,8	9,7	22,344	2,765	33,189	5,706	0,808	
D 2	75	170	2332,4	4,7	31,099	2,765	31,099	2,765	1,125	
D 3	75	170	2224,6	6,3	29,661	3,706	29,661	3,706	0,800	
Rata- Rata								31,316	4,059	0,911
Fraksi Berat Serat 5 %, Perendaman Air Laut 4 Jam										
No.	A_0 (mm ²)	L_0 (mm)	P (N)	ΔL (mm)	σ_t (MPa)	ϵ_t (%)	σ (MPa)	ϵ (%)	E(GPa)	
E 0	75	170	1332,8	4,3	17,771	2,529	17,771	2,529	0,703	
E 1	75	170	1274,0	4	16,987	2,353	16,987	2,353	0,722	
E 2	75	170	1568,0	5,9	17,248	2,588	20,907	3,471	0,666	
Rata- Rata								18,555	2,784	0,697
Fraksi Berat Serat 7,5 %, Perendaman Air Laut 4 Jam										
No.	A_0 (mm ²)	L_0 (mm)	P (N)	ΔL (mm)	σ_t (MPa)	ϵ_t (%)	σ (MPa)	ϵ (%)	E(GPa)	
F 0	75	170	1734,6	4,6	23,128	2,706	23,128	2,706	0,855	
F 1	75	170	1646,4	3,9	21,952	2,294	21,952	2,294	0,957	
F 3	75	170	1646,4	4,3	21,952	2,529	21,952	2,529	0,868	
Rata- Rata								22,344	2,510	0,893

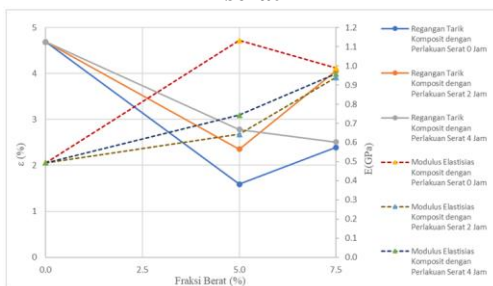
Berdasarkan data yang ditunjukkan pada Tabel 1, didapatkan grafik kekuatan tarik dan modulus elastisitas terhadap fraksi berat pada gambar 6 dan grafik kekuatan tarik dan modulus elastisitas terhadap waktu perendaman serat pada air laut pada gambar 7. Serta didapatkan grafik regangan tarik dan modulus elastisitas terhadap fraksi berat pada gambar 8 dan grafik regangan tarik dan modulus elastisitas terhadap waktu perendaman serat pada air laut pada gambar 9.



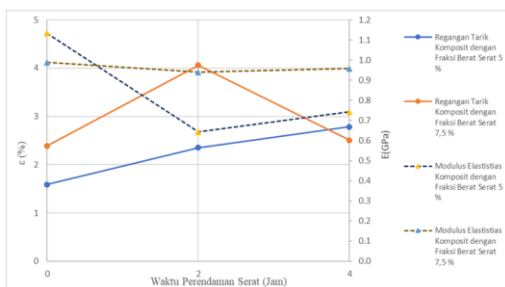
Gambar 6. Grafik sifat kekuatan tarik dan modulus elastisitas terhadap fraksi berat serat



Gambar 7. Grafik sifat kekuatan tarik dan modulus elastisitas terhadap waktu perendaman serat



Gambar 8. Grafik sifat regangan tarik dan modulus elastisitas terhadap fraksi berat serat



Gambar 9. Grafik sifat regangan tarik dan modulus elastisitas terhadap waktu perendaman serat

Gambar 6 menunjukkan hubungan antara kekuatan tarik dan modulus elastisitas terhadap fraksi berat serat. Penurunan kekuatan tarik pada komposit fraksi berat 5% perlakuan perendaman serat 0 jam dan 4 jam diakibatkan oleh ikatan antara matriks dan serat yang kurang baik. Salah satu indikator ikatan antara serat

dan matriks yang kurang baik ditandai dengan terdapatnya serat yang tidak terikat dengan matriks ataupun serat dengan struktur yang rusak sehingga menghasilkan *fiber pull-out*. Pada foto makro patahan komposit dapat diamati juga terjadinya *overload*, dimana *overload* merupakan patahan dari serat yang berhasil terikat dengan matriks dan letaknya sejajar dengan arah dari gaya tarik. *Overload* sangat berpengaruh pada nilai kekuatan tarik yang dihasilkan, oleh karena itu peningkatan fraksi berat akan berpengaruh pada rasio *overload* yang terjadi dan akan meningkatkan nilai kekuatan tarik komposit. Komposit dengan perlakuan perendaman serat 2 jam memiliki ikatan terbaik antara matriks dan serat dibandingkan dengan komposit dengan perlakuan serat 0 jam dan 4 jam. Pada fraksi berat 0 % diperoleh rata-rata nilai kekuatan tarik sebesar 19,82 MPa, Nilai terendah kekuatan tarik terdapat pada fraksi berat serat 5% perendaman serat 0 jam dengan nilai rata-rata kekuatan tarik sebesar 16,20 MPa, meningkat pada fraksi berat 7,5% dengan nilai rata-rata 27,79 MPa. Perendaman serat 2 jam memiliki kekuatan tarik tertinggi disetiap fraksi. Fraksi berat 5% perendaman serat 2 jam diperoleh rata-rata nilai kekuatan tarik sebesar 20,65 MPa, dan fraksi berat 7,5% diperoleh kekuatan tarik maksimum dengan rata-rata sebesar 31,32 MPa. Pada perendaman serat 4 jam, fraksi berat 5% perendaman 4 jam didapatkan nilai rata-rata kekuatan tarik sebesar 18,56 MPa, dan pada fraksi berat 7,5% diperoleh nilai rata-rata kekuatan tarik sebesar 22,34 MPa.

Gambar 8 pada fraksi berat serat 0% memiliki nilai rata-rata regangan tertinggi sebesar 4,69 %. Pada perendaman 0 jam diperoleh nilai rata – rata regangan terendah komposit sebesar 1,59% Pada fraksi berat 5% dan pada fraksi berat 7,5 % diperoleh regangan dengan nilai rata-rata 2,39 %. Pada perendaman 2 jam diperoleh nilai rata-rata regangan sebesar 2,35 % dan meningkat dengan nilai rata-rata 4,06 % pada fraksi berat 7,5 %. Pada perendaman 4 jam diperoleh nilai rata-rata regangan sebesar 2,78% dan menurun dengan nilai rata-rata 2,51% pada fraksi berat 7,5 %.

Berdasarkan gambar 6, modulus elastisitas terendah diperoleh pada fraksi berat 0 % dengan nilai rata-rata 0,49 GPa. Pada perendaman 0 jam diperoleh nilai rata – rata modulus elastisitas tertinggi senilai 1,13 GPa Pada fraksi berat 5% dan menurun dengan nilai rata-rata sebesar 0,99 GPa pada fraksi berat 7,5 %. Pada perendaman 2 jam diperoleh nilai rata-rata modulus elastisitas sebesar 0,64 GPa pada fraksi berat 5% dan meningkat dengan nilai rata-rata 0,94 GPa pada fraksi berat 7,5 %. Pada perendaman 4 jam diperoleh nilai rata-rata modulus elastisitas sebesar 0,74 GPa pada fraksi berat 5% dan meningkat dengan nilai rata-rata 0,96 GPa pada fraksi berat 7,5%.

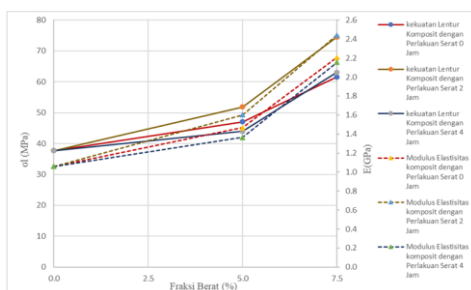
4.2. Uji Lentur

Data hasil uji lentur untuk semua perlakuan dan fraksi berat serat disajikan pada tabel 2.

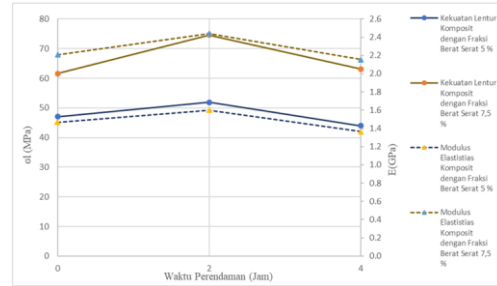
Tabel 2 Data hasil uji lentur

Pengujian Lentur Komposit									
Fraksi Berat Serat 0 %									
No.	L (mm)	b (mm)	d (mm)	P (N)	δ (mm)	m	σ (MPa)	ϵ (%)	Ei(GPa)
O 1	48	12,7	3	59,486	6,4	10,270	37,471	5,000	0,828
O 2	48	12,7	3	51,156	4,3	10,900	32,224	3,359	0,879
O 3	48	12,7	3	68,992	8,9	10,165	43,460	6,953	0,820
Rata- Rata							37,718	5,104	0,842
Fraksi Berat Serat 5 %, Perendaman Air Laut 0 Jam									
No.	L (mm)	b (mm)	d (mm)	P (N)	δ (mm)	m	σ (MPa)	ϵ (%)	Ei(GPa)
A 0	48	12,7	3	73,843	4,8	13,595	46,515	3,750	1,096
A 1	48	12,7	3	68,992	5,4	10,615	43,460	4,219	0,856
A 4	48	12,7	3	81,095	4,5	15,082	51,083	3,516	1,216
Rata- Rata							47,019	3,828	1,056
Fraksi Berat Serat 7,5 %, Perendaman Air Laut 0 Jam									
No.	L (mm)	b (mm)	d (mm)	P (N)	δ (mm)	m	σ (MPa)	ϵ (%)	Ei(GPa)
B 0	48	12,7	3	98,490	3,8	21,887	62,041	2,969	1,765
B 1	48	12,7	3	91,826	3,7	21,980	57,843	2,891	1,772
B 2	48	12,7	3	102,802	3,8	22,104	64,757	2,969	1,782
Rata- Rata							61,547	2,943	1,773
Fraksi Berat Serat 5 %, Perendaman Air Laut 2 Jam									
No.	L (mm)	b (mm)	d (mm)	P (N)	δ (mm)	m	σ (MPa)	ϵ (%)	Ei(GPa)
C 1	48	12,7	3	82,369	5,9	16,654	51,886	4,609	1,343
C 2	48	12,7	3	81,830	5,3	12,566	51,546	4,141	1,013
C 3	48	12,7	3	82,761	4,8	14,212	52,133	3,750	1,146
Rata- Rata							51,855	4,167	1,167
Fraksi Berat Serat 7,5 %, Perendaman Air Laut 2 Jam									
No.	L (mm)	b (mm)	d (mm)	P (N)	δ (mm)	m	σ (MPa)	ϵ (%)	Ei(GPa)
D 0	48	12,7	3	118,090	4,2	22,092	74,387	3,281	1,781
D 2	48	12,7	3	128,870	5,4	19,941	81,178	4,219	1,608
D 4	48	12,7	3	108,094	4,9	18,635	68,091	3,828	1,503
Rata- Rata							74,552	3,776	1,631
Fraksi Berat Serat 5 %, Perendaman Air Laut 4 Jam									
No.	L (mm)	b (mm)	d (mm)	P (N)	δ (mm)	m	σ (MPa)	ϵ (%)	Ei(GPa)
E 0	48	12,7	3	75,852	5,8	12,384	47,781	4,531	0,999
E 1	48	12,7	3	68,355	5,7	11,067	43,058	4,453	0,892
E 2	48	12,7	3	65,268	4,9	12,404	41,114	3,828	1,000
Rata- Rata							43,984	4,271	0,964
Fraksi Berat Serat 7,5 %, Perendaman Air Laut 4 Jam									
No.	L (mm)	b (mm)	d (mm)	P (N)	δ (mm)	m	σ (MPa)	ϵ (%)	Ei(GPa)
F 1	48	12,7	3	95,305	3,7	20,977	60,035	2,891	1,691
F 2	48	12,7	3	101,626	4,5	18,957	64,016	3,516	1,529
F 3	48	12,7	3	103,390	4,1	21,023	65,128	3,203	1,695
Rata- Rata							63,060	3,203	1,638

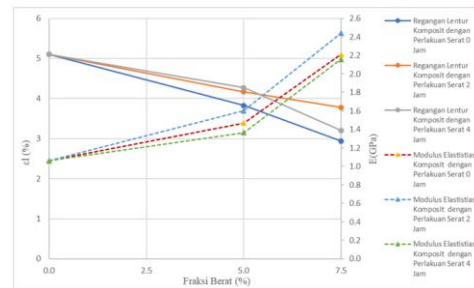
Berdasarkan data yang ditunjukkan pada Tabel 2, didapatkan grafik kekuatan lentur dan modulus elastisitas terhadap fraksi berat pada gambar 10 dan grafik kekuatan lentur dan modulus elastisitas terhadap waktu perendaman serat pada air laut pada gambar 11. Serta didapatkan grafik regangan lentur dan modulus elastisitas terhadap fraksi berat pada gambar 12 dan grafik regangan lentur dan modulus elastisitas terhadap waktu perendaman serat pada air laut pada gambar 13.



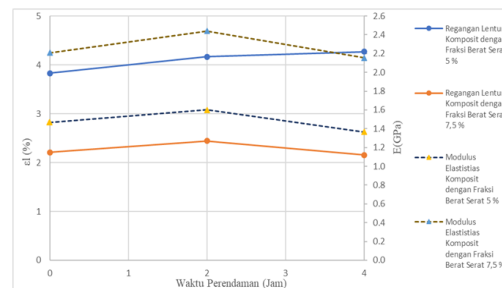
Gambar 10. Grafik sifat kekuatan lentur dan modulus elastisitas terhadap fraksi berat serat



Gambar 11. Grafik sifat kekuatan lentur dan modulus elastisitas terhadap waktu perendaman serat



Gambar 12. Grafik sifat regangan lentur dan modulus elastisitas terhadap fraksi berat serat



Gambar 13. Grafik sifat regangan lentur dan modulus elastisitas terhadap waktu perendaman serat

Berdasarkan gambar 10, kekuatan lentur komposit meningkat seiring dengan meningkatnya fraksi berat serat. Nilai kekuatan lentur rata-rata terendah terdapat di fraksi berat serat 0 % senilai 37,72 MPa. Pada perendaman serat 0 jam didapatkan nilai rata-rata 47,02 MPa pada fraksi berat 5% dan meningkat menjadi 61,57 MPa pada fraksi berat 7,5 %. Pada perendaman serat 2 jam didapat nilai kekuatan lentur sebesar 51,86 MPa pada fraksi berat 5% dan nilai kekuatan maksimum komposit pada fraksi berat 7,5% sebesar 74,55 MPa. Pada perendaman fraksi berat 4 jam didapat penurunan nilai rata-rata dibandingkan dengan perendaman 0 jam pada fraksi berat 5 % dan perendaman serat 2 jam pada fraksi berat 5% dan 7,5%. Pada fraksi berat 5 % perendaman serat 4 jam didapat nilai rata-rata sebesar

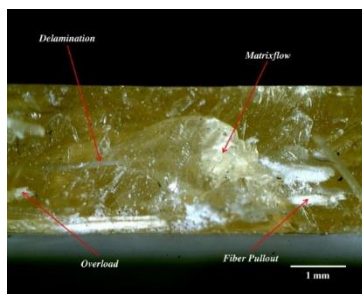
43,98 MPa dan meningkat menjadi 63,06 MPa pada fraksi berat 7,5 % perendaman serat 4 jam.

Berdasarkan gambar 12, dapat dilihat bahwa terjadi penurunan regangan seiring dengan pertambahan fraksi berat pada setiap variasi perendaman serat. pada komposit dengan 0 % serat memiliki regangan yang paling tinggi dengan nilai 5,10 %. Untuk perendaman 0 jam didapatkan hasil 3,83 % pada fraksi berat 5 % dan menurun pada fraksi berat 7,5 % dengan nilai 2,94 % yang merupakan regangan terendah. Pada perendaman 2 jam didapatkan hasil dengan nilai 4,17 % dan menurun pada fraksi berat 7,5% dengan nilai 3,78 %. Pada perendaman 4 jam didapatkan hasil dengan nilai 4,27 % dan menurun pada fraksi berat 7,5% dengan nilai 3,203 %.

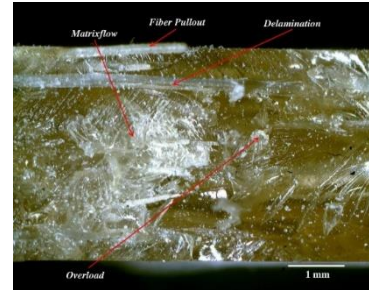
Berdasarkan gambar 10, nilai rata-rata modulus elastisitas meningkat seiring dengan meningkatnya fraksi berat. Hal ini disebabkan oleh peningkatan rasio tegangan lentur terhadap regangan lentur. Fraksi berat 0 % serat memiliki modulus elastisitas terendah senilai 1,06 GPa. Pada variasi perendaman 0 jam, fraksi berat 5% menghasilkan modulus elastisitas sebesar 1,47 GPa dan meningkat pada fraksi berat 7,5% menjadi 2,21 GPa. Untuk variasi perendaman 2 jam, fraksi berat 5% menghasilkan modulus elastisitas sebesar 1,60 GPa dan meningkat pada fraksi berat 7,5% menjadi 2,44 GPa. Untuk variasi perendaman 4 jam, fraksi berat 5% menghasilkan modulus elastisitas sebesar 1,37 GPa dan meningkat pada fraksi berat 7,5% menjadi 2,16 GPa.

4.3. Pengamatan Foto Makro Patahan

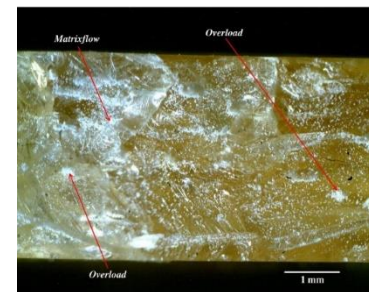
Dilakukan pengambilan data foto makro dari hasil patahan spesimen uji komposit. Adapun hasil foto makro sebagai berikut :



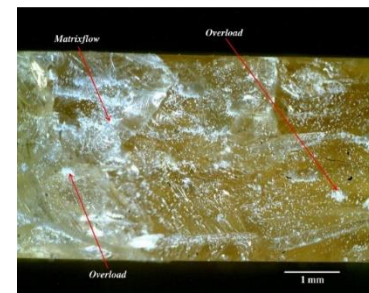
Gambar 14 Foto Makro Patahan Komposit Fraksi berat 5% perendaman serat 0 jam



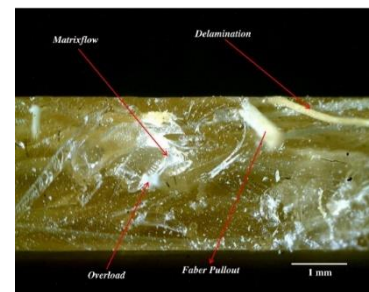
Gambar 15 Foto Makro Patahan Komposit Fraksi berat 7,5% perendaman serat 0 jam



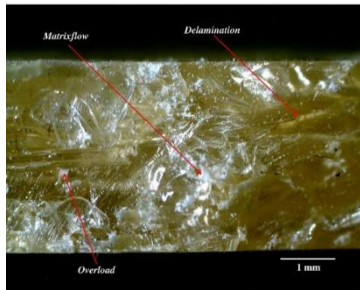
Gambar 16 Foto Makro Patahan Komposit Fraksi berat 5% perendaman serat 2 jam



Gambar 17 Foto Makro Patahan Komposit Fraksi berat 7,5% perendaman serat 2 jam



Gambar 18 Foto Makro Patahan Komposit Fraksi berat 5% perendaman serat 4 jam

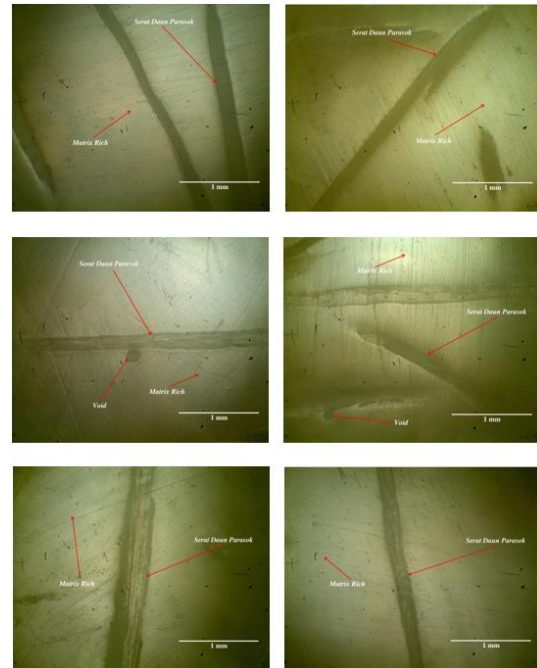


Gambar 19 Foto Makro Patahan Komposit Fraksi berat 7,5% perendaman serat 4 jam

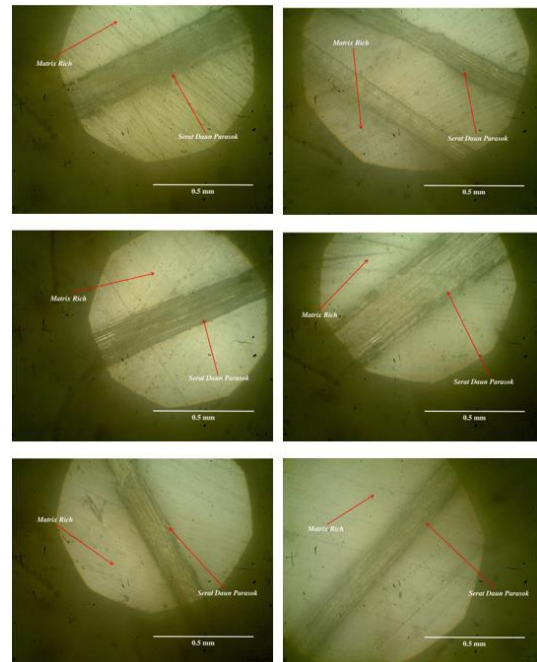
Berdasarkan pada gambar 14, patahan pada komposit dengan perendaman serat selama 0 jam fraksi berat 5 % didominasi oleh matriks flow sebesar 44,76%. Hal tersebut diakibatkan oleh kurangnya serat pada area patahan serta terdapat beberapa delaminasi yang ditimbulkan karena orientasi serat acak. pada gambar 15, komposit fraksi berat 7,5% dengan perendaman 0 jam didominasi oleh matriks flow sebesar 34,22%. Delaminasi yang timbul lebih banyak dibandingkan pada fraksi berat 5%, tetapi memiliki lebih sedikit *fiber pull-out* dan lebih banyak *overload*. Pada gambar 16, komposit fraksi berat 5% dengan perendaman 2 jam didapat matriks flow sebesar 7,92%. pada gambar 17, komposit fraksi berat 7,5 % didapat matriks flow sebesar 44,39 %. Untuk gambar 18, komposit fraksi berat 5% perendaman serat 4 jam didapat matriks flow sebesar 26,31 %. Pada gambar 19, komposit fraksi berat 7,5% perendaman serat 4 jam didapat matriks flow sebesar 48,23%. Pengamatan hasil patahan menyatakan bahwa perendaman serat optimal adalah perendaman serat 2 jam. Hal ini dinyatakan oleh tidak adanya *fiber pull-out* dan terjadinya *overload* yang lebih banyak dibandingkan variasi lainnya. Untuk Perendaman serat 0 jam komposit memiliki ikatan cross-linking yang kurang baik sedangkan perendaman serat 4 jam serat mulai terdegradasi sehingga serat menjadi rapuh dan tidak dapat berikatan dengan baik.

4.4. Pengamatan Mikro Permukaan

Dilakukan pengambilan data foto mikro permukaan dari spesimen uji komposit. Adapun hasil foto mikro sebagai berikut :



Gambar 20. Hasil foto mikro permukaan komposit dengan perbesaran 40×



Gambar 21. Hasil foto mikro permukaan komposit dengan perbesaran 100×

5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kekuatan tarik tertinggi terjadi pada fraksi berat serat 7,5% dan perendaman serat selama 2 jam dengan nilai rata – rata

tegangan tarik sebesar 31,32 MPa, sedangkan kekuatan tarik terendah terjadi pada fraksi berat serat 5% perendaman serat 0 jam (tanpa perendaman) dengan nilai rata – rata tegangan tarik sebesar 16,20 MPa.

2. Nilai kekuatan lentur tertinggi terjadi pada fraksi berat serat 7,5% dan perendaman serat 2 jam dengan nilai rata – rata tegangan lentur sebesar 74,55 MPa, sedangkan kekuatan lentur terendah terjadi pada fraksi berat serat 0% (resin murni) dengan nilai rata – rata tegangan lentur sebesar 37,72 MPa

Daftar Pustaka

- [1] Djamil, S., Sobron Y Lubis, & Hartono., 2014, *Kekuatan Tarik Komposit Matrik Polimer Berpenguat Serat Alam Bambu Gigantochloa Apus Jenis Anyaman Diamond Braid dan Plain Weave*
- [2] Suryawan, I. G. P. A., Suardana, N., Suarsana, I. K., Lokantara, I. P., & Lagawa, I. K. J., 2019, *Kekuatan Tarik dan Lentur pada Material Komposit Berpenguat Serat Jelatang, Jurnal Energi Dan Manufaktur*, Vol12, No.1.
- [3] Budhi Santoso, A., 2007, *Pengaruh Perlakuan Kimia Pada Serat Widuri (Calotropis Gigantea) Terhadap Sifat Mekanis Komposit The Effects Of Chemical Treatment On Widuri (Calotropis Gigantea) Fiber To Mechanical Properties.*
- [4] Susanto, J., Seputro, H., & Santoso, E., 2016, *Analisa Pengaruh Variasi Media Pendingin Dan Waktu Aging Pada Perlakuan Panas T6 Terhadap Struktur Mikro.* 01(02), 227–238.
- [5] Wambua, P., I., & J., V., 2003, *Natural Fibres: Can They Replace Glass In Fiber Reinforced Plastics? Composites Science Technology*
- [6] Jones, G., 1975, *Front Matter. In Joanna Russ*, <https://doi.org/10.5406/j.ctvnwbxjm.1>
- [7] Thakur, V. K., Gupta, R., & Thakur, M. K., 2017, *Hybrid Polymer Composite Materials: Processing*,
- [8] Czarnecki, L., 2018, *Polymer-Concrete Composites for the repair of concrete structures. MATEC Web of Conferences*, 199. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819901006>
- [9] Frederick, J. E. . 2008, *Principles of Atmospheric Science*



Ida Bagus Putu Purwadnyana

Menyelesaikan pendidikan S1 di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bali. Dari tahun 2016 hingga 2020 dengan skripsi yang berjudul “Pengaruh fraksi berat dan waktu perendaman serat pada air laut terhadap kekuatan tarik dan kekuatan lentur komposit *epoxy* serat praksok (*cordyline australis*)”.

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

Pengaruh Fraksi Berat Terhadap Kekuatan *Bending* Dan Pengamatan SEM Biokomposit Serat Kulit Jagung Dengan Matrik Resin *Epoxy/Polyvinil Acetat*

Rahmad Aditya Hasibuan, I Wayan Surata, Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Makanan pokok yang sangat banyak dikonsumsi di Indonesia adalah Jagung. Limbah alami yang dihasilkan dari hasil konsumsi jagung sangat berlimpah. Salah satu limbah dari tanaman jagung yang belum dapat dimanfaatkan dengan baik adalah kulit jagung. Oleh karena itu dalam penelitian ini limbah kulit jagung diambil seratnya dan dijadikan sebagai bahan penguat dalam pembuatan biokomposit. Dalam penelitian ini yang ingin dianalisis adalah pengaruh fraksi berat serat terhadap kekuatan *bending* dan morfologi biokomposit berpenguat serat kulit jagung dengan matrik resin epoxy/Polyvinil Acetate. Serat kulit jagung didapatkan melalui metode ekstraksi yaitu perendaman dan penyisiran, kemudian dipotong dengan ukuran panjang ± 1 cm. Serat kulit jagung diberi perlakuan dengan cara direndam di dalam larutan 5% NaOH selama 2 jam. Biokomposit dicetak dengan teknik hand lay-up dengan variasi fraksi berat serat kulit jagung 5%, 10% dan 15%. Pengujian yang dilakukan adalah uji *bending* (ASTM D790-03) dan SEM. Hasil penelitian menunjukkan kekuatan *bending*, regangan *bending*, dan modulus *bending* meningkat seiring dengan meningkatnya fraksi berat serat. Nilai tertinggi terletak pada biokomposit dengan fraksi berat serat 15% dengan nilai tegangan *bending* sebesar 23,523 MPa, nilai regangan *bending* sebesar 0,022933 dan nilai modulus elastisitas sebesar 736,527 MPa. Hasil SEM memperlihatkan bahwa dari seluruh spesimen biokomposit tidak terjadi ikatan yang sempurna antara penguat dan pengikat sehingga masih menimbulkan void.

Kata kunci : Biokomposit, serat kulit jagung, resin epoxy, polyvinil acetate

Abstract

Corn is one of staple foods in Indonesia which is consumed quite a lot, so that it produces natural waste in abundant quantities. One of the wastes from the corn plant that has not been utilized optimally is corn husks. Therefore, in this research, corn husk waste is used as a reinforcement material in making biocomposites. This research aims to analyze the effect of fiber weight fraction on *Bending* strength and morphology of biocomposites by corn husk fiber with matrix epoxy resin/Polyvinyl Acetate. Corn husk fibers is obtained by extraction method by soaking and combing, then cut to a length ± 1 cm. Corn husk fibers were treated in a 5% NaOH for 2 hours. Biocomposite was made by hand lay-up method, with a variation of weight fraction of corn husk fiber 5%, 10%, 15%. Test performed are *bending* strength (ASTM-D790-03) and SEM. The results showed that the *bending* strength, *bending* strain, and *bending* modulus increased with increasing fiber weight fraction. The highest value was obtained by the biocomposite with a fiber weight fraction of 15% with *bending* strength values of 23,523 Mpa, *bending* strain values of 0,022933 and a modulus of elasticity of 736,527 Mpa. SEM results show that from all specimens there is no perfect bond between reinforcement and matrix, so that it still causes voids.

Keywords: Biocomposite, corn husk fiber, epoxy resin, polyvinyl acetate

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi rekayasa material sangat pesat di seluruh dunia, diantaranya adalah pembuatan material biokomposit. Material biokomposit adalah suatu material yang diproduksi dengan cara mencampur dua atau lebih jenis bahan yang memiliki karakteristik berbeda menjadi suatu material yang baru dengan karakteristik yang baru (berbeda dengan bahan pembentuknya). biokomposit mempunyai beberapa kelebihan misalnya konsumsi energi pembuatan yang

rendah, terbuat dari bahan yang dapat diperbaharui dan material yang cenderung ringan[1]. Bahan penyusun biokomposit secara umum terdiri dari penguat (serat) dan matrik (resin).

Makanan pokok yang sangat banyak dikonsumsi di Indonesia adalah Jagung. Limbah alami yang dihasilkan dari hasil konsumsi jagung sangat berlimpah. Bagian tanaman jagung yang digunakan sebagai makanan adalah bijinya, sementara bagian tanaman jagung yang lainnya seperti : batang, daun, tongkol serta kulit jagung merupakan

limbah. data dari Badan Pusat Statistik (BPS) memperlihatkan selama tahun 2015 produksi jagung di provinsi Bali sebesar 40.603 ton dari total keseluruhan produksi jagung Indonesia sebesar 19.612.435 ton.

Kulit jagung adalah salah satu limbah alami dari tanaman jagung yang belum termanfaatkan secara optimal. Kulit jagung sering dianggap sampah yang tidak bernilai ekonomis lagi. Limbah alami dari kulit jagung dapat diolah menjadi suatu produk sehingga dapat meningkatkan nilai dari limbah kulit jagung tersebut. Dalam beberapa penelitian kulit jagung diteliti dan diolah untuk dijadikan sebagai bahan dasar pengganti plastik, bahan dasar pembuatan kerajinan tangan seperti kertas kado, bunga hias, dan tas serta sebagai pakan ternak. Kendati demikian limbah alami kulit jagung belum dapat diserap sepenuhnya (pemanfaatannya belum optimal [2]. Oleh karena itu dalam penelitian ini limbah kulit jagung diambil seratnya untuk dijadikan sebagai bahan penguat dalam pembuatan biokomposit.

Kulit jagung memiliki sifat mekanik, yaitu : pada arah membujur memiliki keteguhan tarik sebesar 10,8 Mpa, Modulus elastis sebesar 387,4 Mpa, keteguhan belah 5,03 % dan pada arah melintang memiliki keteguhan tarik sebesar 4,2 Mpa, Modulus elastis sebesar 169,3 Mpa serta keteguhan belah 3,7%. Berdasarkan komposisi kimianya, kulit jagung mengandung selulosa sebesar 42% [3].

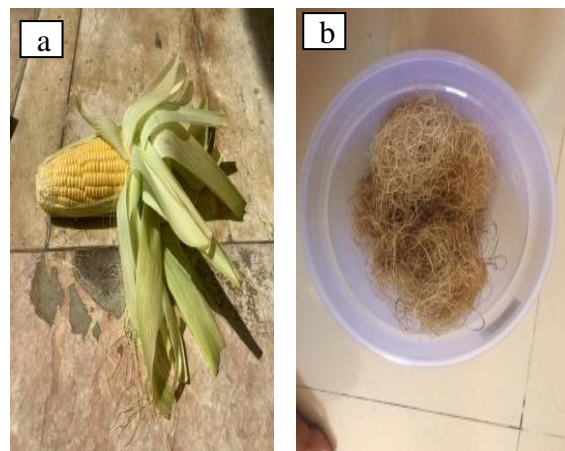
Tujuan penelitian ini adalah untuk dapat mengetahui karakteristik fisik dan mekanik dari biokomposit serat kulit jagung dengan matrik resin *epoxy/Polyvinyl Acetate*. Oleh karena itu dilakukan dua pengujian yaitu uji SEM dan uji *bending*. Tujuan dari uji SEM adalah untuk melihat kondisi permukaan biokomposit. Uji *bending* dilakukan untuk mengetahui resistensi biokomposit terhadap beban yang diberikan pada tiga titik lentur.

Dengan diketahuinya karakteristik fisik dan mekanik dari biokomposit serat kulit jagung dengan matrik resin *epoxy/Polyvinyl Acetate* diharapkan akan mempermudah pemanfaatannya sesuai sifat – sifat yang dimilikinya atau dalam aplikasinya dapat dimanfaatkan sebagai alternatif bahan baku industri, sehingga biokomposit serat kulit jagung dengan matrik resin *epoxy/Polyvinyl Acetate* dapat dijadikan alternatif pemanfaatan limbah kulit jagung.

2. Metode penelitian

Polyvinyl Acetate dan resin *epoxy* digunakan sebagai matriks dalam penelitian ini. Serat

kulit jagung diperoleh dengan teknik *water retting* yaitu dengan proses perendaman dan penyisiran. Jagung dan hasil ekstraksi serat kulit jagung ditunjukkan dalam Gambar 1. Serat kulit jagung digunting dengan panjang 1 cm, direndam dalam larutan NaOH (5%) selama 2 jam untuk menghilangkan kotoran dan lapisan lilin pada serat kulit jagung. Serat dicuci dengan air bersih dan dikeringkan hingga beratnya konstan. Teknik pembuatan biokomposit adalah teknik *Hand lay-up*, dengan variasi fraksi berat serat kulit jagung 5%,10%,15% yang disusun secara acak. Uji *bending* mengacu pada standar ASTM D790-03. Pengujian *bending* dilakukan dengan metode tiga titik pembebanan dan dilakukan pengujian SEM.

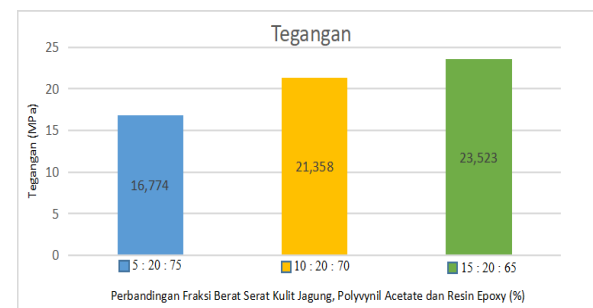


Gambar 1. (a) Jagung, (b) Serat Kulit Jagung

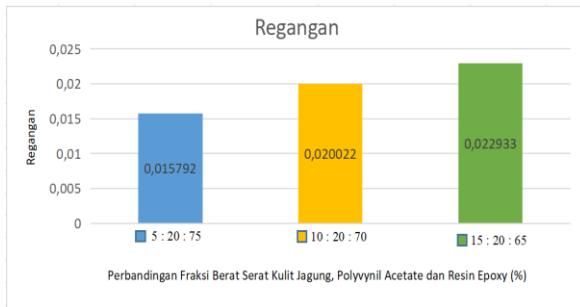
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengujian Bending

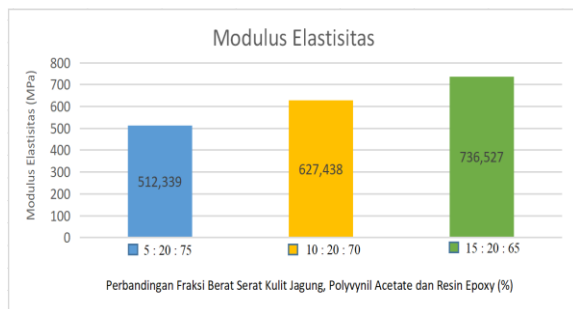
Setelah melakukan pengujian *bending*, diperoleh nilai kekuatan *bending* berupa tegangan, regangan, dan modulus elastisitas. Berdasarkan pengolahan data dari pengujian *bending*, dapat dibuat grafik seperti di bawah ini



Gambar 2. Grafik Tegangan Bending Biokomposit Serat Kulit Jagung/Resin Epoxy/Polyvinyl Acetate



Gambar 3. Grafik Regangan *Bending* Biokomposit Serat Kulit Jagung/Resin Epoxy/Polyvinyl Acetate

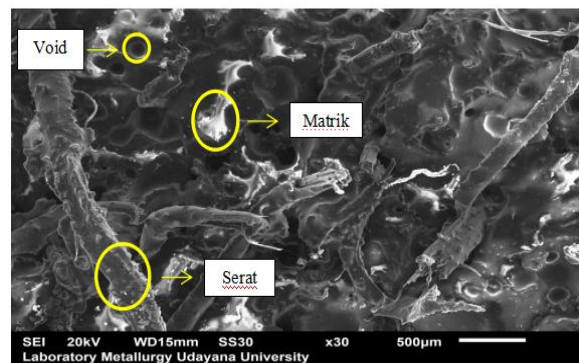


Gambar 4. Grafik Modulus Elastisitas *Bending* Biokomposit Serat Kulit Jagung/Resin Epoxy/Polyvinyl Acetate

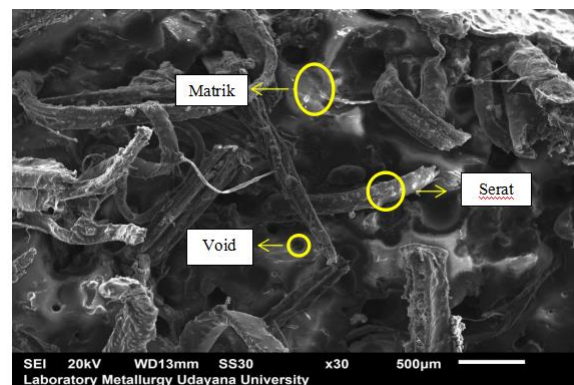
Gambar 2. menunjukkan bahwa kenaikan tegangan *bending* dikarenakan penambahan serat pada biokomposit. Grafik diatas menjelaskan semakin tinggi fraksi berat seratnya, maka semakin tinggi tegangan *bendingnya*. Hal ini ditunjukkan pada fraksi berat 5% serat, besar tegangan *bending* rata-rata terkecil yaitu, 16,774 MPa, lebih kecil dibanding fraksi berat 10%, yang besar rata-rata tegangan *bendingnya* 21,358 MPa. Sedangkan untuk fraksi berat 15% serat, besarnya rata-rata tegangan *bendingnya* yaitu 23,523MPa, terlihat lebih tinggi dari fraksi berat 5%, serta fraksi berat 10% serat. Semakin banyak serat yang digunakan, maka semakin meningkat tegangan *bendingnya*. Hal ini dikarenakan biokomposit yang semakin banyak serat lebih dapat menahan beban yang akan diberikan terhadap biokomposit, dimana beban akan ditahan oleh serat dan disalurkan secara merata pada seluruh bagian biokomposit. Gambar 3. menunjukkan hubungan antara variasi fraksi berat pada biokomposit serat kulit jagung/resin epoxy/Polyvinyl Acetate terhadap regangan *bending*, dimana hasil yang diperoleh pada spesimen biokomposit dengan fraksi serat 15% mempunyai nilai regangan tertinggi yaitu 0,022933. Spesimen biokomposit dengan fraksi serat 10% mempunyai nilai

regangan sebesar 0,020022. Sedangkan nilai regangan yang terendah didapatkan pada spesimen biokomposit dengan fraksi serat 5% dengan nilai regangan *bending* sebesar 0,015792. Gambar 4. menunjukkan hubungan antara variasi fraksi berat pada biokomposit serat kulit jagung/resin epoxy/Polyvinyl Acetate terhadap modulus elastisitas. Spesimen biokomposit dengan fraksi serat 15% mempunyai nilai modulus elastisitas tertinggi yaitu, 736,527 MPa. biokomposit dengan fraksi berat serat 10% mempunyai nilai modulus elastisitas sebesar 627,438 MPa. Sedangkan nilai modulus elastisitas yang terendah didapatkan pada biokomposit dengan fraksi berat serat 5% dengan nilai modulus elastisitas sebesar 512,339 MPa.

3.2 Hasil Pengujian SEM Biokomposit



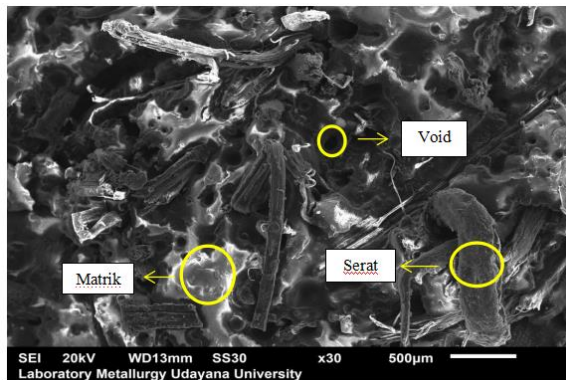
Gambar 5 . Hasil Pengamatan SEM Biokomposit Fraksi Serat 5% Perbesaran 30x



Gambar 6. Hasil Pengamatan SEM Biokomposit Fraksi Serat 10% Perbesaran 30x

Gambar 5, 6 dan 7 memperlihatkan hasil pengamatan SEM (*Scanning Electron Microscope*) pada masing-masing variasi fraksi berat biokomposit. Gambar-gambar diatas menunjukkan bahwa ikatan antara serat dan matrik tidak sempurna dikarenakan kompatibilitas antara serat kulit jagung dengan matrik resin epoxy/Polyvinyl Acetate tidak cukup baik sehingga memberikan

pengaruh terhadap kekuatan *bending* biokomposit.



Gambar 7. Hasil Pengamatan SEM Biokomposit Fraksi Serat 15% Perbesaran 30x

4. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil pengujian *bending* menunjukkan bahwa biokomposit serat kulit jagung dengan matrik resin *epoxy/Polyvinyl Acetate* variasi fraksi berat serat 15% mempunyai nilai kekuatan *bending* tertinggi dengan nilai tegangan *bending* sebesar 23,523 MPa, nilai regangan *bending* sebesar 0,022933 dan nilai modulus elastisitas sebesar 736,527 MPa. Kekuatan *bending*, regangan *bending* dan modulus *bending* meningkat seiring dengan meningkatnya fraksi berat serat.
2. Hasil pengamatan SEM menunjukkan bahwa dari seluruh spesimen tidak terjadi ikatan yang sempurna antara penguat dengan matrik sehingga masih menimbulkan *void*.

Daftar Pustaka

- [1] Zainuddin, 1996, *Komposit Ijuk Serat Panjang Dengan Resin Polyester. Skripsi. Medan*, FMIPA, Universitas Sumatera Utara.
- [2] Paramita, N., 2010, *Eksplorasi Olah Serat Jagung (Zea Mays) Melalui Proses Teknik Non Tenun untuk Alternatif Produk-Produk Kria*, Skripsi, Fakultas Seni Rupa dan Desain. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- [3] Huda, S.N., 2008, *Composites from from Chicken Feather and Cornhusk-Preparation and Characterization*, Nebraska: University of Nebraska.



Rahmad Aditya Hasibuan menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana, Program Studi Teknik Mesin pada tahun 2020.

Bidang Penelitian yang menjadi konsentrasi adalah pembahasan mengenai rekayasa manufaktur.

Pengaruh Variasi Sudut Masuk Sudu Sepanjang Span Terhadap Efisiensi Blower Aksial

I.G.K. Adianta , A.A.A. Suryawan, dan I.G.K Sukadana
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit, Jimbaran Bali

Abstrak

Telah dilakukan penelitian tentang pengaruh variasi sudut masuk sudu sepanjang span terhadap efisiensi suatu blower aksial. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui variasi sudut masuk sudu yang menghasilkan nilai efisiensi terbaik. Adapun tiga variasi yang diuji yaitu variasi sudut sudu I : $\beta_a=15^\circ$, $\beta_b=20^\circ$, $\beta_c=25^\circ$, variasi sudut sudu II : $\beta_a=20^\circ$, $\beta_b=25^\circ$, $\beta_c=30^\circ$, variasi sudut sudu III : $\beta_a=25^\circ$, $\beta_b=30^\circ$, $\beta_c=35^\circ$. Sudu didesain dengan Autodesk Fusion 360 dan dicetak menggunakan 3dprint dengan motor penggerak 220 V, 50Hz, 1400 rpm. Pada penelitian ini alat uji yang digunakan wind tunnel dan inclined manometer. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai efisiensi terbaik dihasilkan oleh variasi sudut sudu III : $\beta_a=25^\circ$, $\beta_b=30^\circ$, $\beta_c=35^\circ$ dengan nilai 8,4 % dan daya yang diperlukan 28,3 watt. Hal ini membuktikan bahwa semakin besar sudut masuk sudu maka menghasilkan nilai efisiensi yang lebih tinggi.

Kata Kunci : Blower Aksial, Sudu, Efisiensi

Abstract

Research on the effect of variations in the angle of entry of the blade along the span on the efficiency of an axial blower. This research aims to determine the variation of the angle of entry of the blade that produces the best efficiency value. The three variations that were tested were the blade angle variation blade angle I : $\beta_a=15^\circ$, $\beta_b=20^\circ$, $\beta_c=25^\circ$, variation blade angle II : $\beta_a=20^\circ$, $\beta_b=25^\circ$, $\beta_c=30^\circ$, variation blade angle III : $\beta_a=25^\circ$, $\beta_b=30^\circ$, $\beta_c=35^\circ$. The blade was designed with Autodesk Fusion 360 and printed using a 3dprint with a motor specification 220 V, 50Hz, 1400 rpm . In this research, the test equipment used was a wind tunnel and inclined manometer. The results of research indicate that the best efficiency value is generated by the variation of blade angle III $\beta_a=25^\circ$, $\beta_b=30^\circ$, $\beta_c=35^\circ$. This research show a efficiency value of 8,4 % and the required power of 28.3 watts. This proves that the greater the angle of entry of the blade, the higher the efficiency value.

Keywords: Axial Blower, Blade, Efficiency

1. Pendahuluan

Blower merupakan sebuah alat poros bersudu yang didesain untuk mengalirkan fluida dari satu tempat ke tempat yang lain dalam fase gas seperti udara dan berfungsi untuk menghisap atau menghembus udara di dalam ruang untuk dibuang ke luar atau masuk ke ruangan. *Blower* memiliki peranan yaitu sebagai sistem ventilasi dalam ruang lingkup industri blower diaplikasikan untuk melindungi pencemaran udara di lingkungan pabrik ,hal yang terpenting yaitu mencegah kontaminasi udara, panas, menghindari bahaya, menciptakan lingkungan yang nyaman dan segar, mensuplai oksigen untuk manusia, mengencerkan dan membuang gas beracun dan debu. Pada pembangkit uap (ketel) *blower* merupakan alat penghembus gas buang, sehingga dengan demikian gas asap bisa keluar dengan volume yang besar [1]. Baik industri kecil maupun besar banyak menggunakan *blower* sebagai sistem ventilasi udara dikarenakan memiliki konstruksi yang cenderung sederhana.

Berdasarkan prinsip kerja dari *blower* dapat diklasifikasikan melalui arah gerak dari fluidanya yaitu aksial dan sentrifugal, tiap klasifikasi dari *blower* mempunyai karakteristik masing-masing yang akan mempengaruhi penggunaannya nanti [2]. apabila disandingkan dengan *blower* jenis lain, maka *blower aksial* memiliki sebuah karakteristik kapasitas udara yang besar namun tekanan yang kecil .Maka dengan itu banyak dilakukan modifikasi pada blower agar sesuai dengan kebutuhan dan penggunaannya. *Blower* aksial konstruksinya merupakan blower yang memiliki tipe aliran didalam rotor dan diarahkan secara aksial (alirannya sejajar poros), *blower* aksial tergolong *rotodynamic blower*. Berbeda halnya dengan *blower* sentrifugal, dimana *blower* sentrifugal merupakan blower yang memiliki tipe aliran didalam rotor atau diarahkan secara radial yaitu aliran keluar dari sumbu poros.

Untuk kerjanya sangat tergantung dari desain, bentuk dan jumlah bilah sudu. Sudu merupakan komponen dari *blower* yang

merupakan tempat terjadinya proses perubahan energi mekanis menjadi energi kinetis berupa kecepatan fluida udara [3]. *Blower* aksial umumnya penggunaan jumlah bilah sudu lebih sedikit dua hingga enam bilah. Secara umum desain sudu *blower* aksial yang sering digunakan industry yaitu berjenis *propeller* yang dimana menghasilkan laju aliran udara besar tapi dengan tekanan kecil dan mempunyai konstruksi yang sederhana dan instalasi yang mudah.

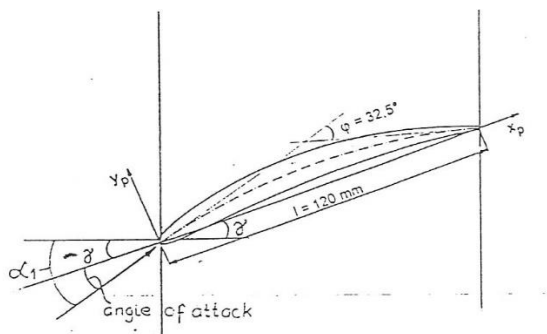
Pada tugas akhir ini penulis tertarik untuk melakukan pengujian karakteristik *blower aksial* khususnya yaitu *sudu blower*. Adapun modifikasi yang di lakukan terkait pada dimensi dari variasi sudut masuk sudu sepanjang span terhadap efisiensi yang dihasilkan. Variasi yang dilakukan adalah membuat tiga variasi sudu *blower* aksial yaitu pada sudut masuk sepanjang span yang bervariasi. Sehingga nantinya dapat dibandingkan efisiensi yang dihasilkan.

Tujuan dari dilakukannya penelitian Adapun tujuan dalam pengujian yang dilakukan adalah: Mengetahui pengaruh variasi sudut masuk sudu sepanjang span terhadap efisiensi suatu *blower* aksial.

2. Dasar Teori

2.2. Sudut Masuk Aliran

Sudut masuk merupakan sebuah celah udara yang keluar dari sisi masuk *blower* aksial, Bila diambil referensi terhadap *chord line*[4], maka dari gambar 1 didapat pengertian yang penting dari sudut aliran masuk sebagai berikut :



Gambar 1. Hubungan antara angle of attack dengan stagger angle [4]

dimana :

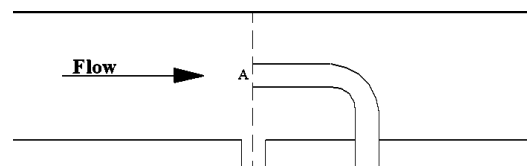
1. Sudut serang (*angle of attack*) adalah yang dibentuk oleh tali busur pada sebuah *airfoil* (*chord line*) dengan arah aliran udara yang melewatinya (*relatif wind*).
2. *Stagger angle* (γ) sudut antara *chord line* *airfoil* dengan arah aksial

Sudut masuk pada *blower* aksial selalu dibentuk dari garis aksial dengan garis singgung datangnya aliran udara (*relatif wind*), kecepatan relatif dibuat mengikuti kelengkungan sudu atau sudut masuk dapat ditentukan dari pertambahan *angle of attack* (α_1) dengan *stagger angle* (γ). Dengan itu sudut masuk dapat dinotasikan menjadi sudut beta (β_1).

2.3. Perhitungan Perfoma Blower

Pada aliran fluida terdapat terdapat tiga jenis tekanan yaitu tekanan stagnasi atau tekanan total, tekanan dinamis dan tekanan statis. Tekanan dapat di ukur menggunakan pitot tube yang terhubung dan dapat dibaca dengan *inclined manometer*.

Untuk mengetahui tekanan dinamis dapat diketahui dengan mencari perbedaan tekanan stagnasi (P_A) dengan tekanan statis (P_S) adalah sebagai berikut.



Gambar 2. Pengukuran tekanan stagnasi dan tekanan statis [3]

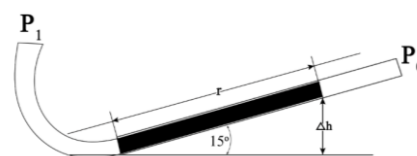
Dengan diketahui tekanan dinamis kecepatan udara dalam *wind tunnel* dapat dicari. Untuk mencari kecepatan fluida didalam pipa didapat dari rumus Bernoulli sebagai berikut.

$$\frac{P_A}{\rho \cdot g} = \frac{P_s}{\rho \cdot g} + \frac{V_A^2}{2 \cdot g} \quad (1)$$

$$V^2 = 2 \cdot g \left[\frac{P_A - P_S}{\rho \cdot g} \right] \quad (2)$$

$$\left[\frac{P_A - P_S}{\rho \cdot g} \right] = \Delta h \quad (3)$$

Pengukuran tekanan akan divisualisasikan ke dalam bentuk perubahan ketinggian kolom fluida dari *Inclined manometer* dengan kemiringan 15 derajat terhadap horizontal.



Gambar 3. Inclined Manometer

Pengukuran kecepatan udara dengan *Inclined Manometer* didapat pertambahan panjang fluida ukur (minyak tanah) yang memiliki *Specific Gravity* (SG) rendah (Kerosine, SG sekitar 0,81) pada mistar. Dengan sudut kemiringan 15 derajat, dimana pertambahan panjangnya dinyatakan dengan Δr sehingga Δh dapat dicari.

$$\Delta h_{mt} = \Delta r \cdot \sin 15^\circ \quad (4)$$

Persamaan tekanan antara minyak tanah dengan udara :

$$\rho_{mt} \cdot g \cdot \Delta h_{mt} = \rho_{air} \cdot g \cdot \Delta h_{air} \quad (5)$$

$$\Delta h_{air} = \frac{\rho_{mt} \cdot g \cdot \Delta h_{mt}}{\rho_{air} \cdot g}$$

$$\Delta h_{air} = SG_{mt} \cdot \Delta h_{mt}$$

$$\rho_{udara} \cdot g \cdot \Delta h_{udara} = \rho_{air} \cdot g \cdot \Delta h_{air}$$

$$\rho_{udara} \cdot g \cdot \Delta h_{udara} = \rho_{air} \cdot g \cdot SG_{mt} \cdot \Delta h_{mt}$$

$$\Delta h_{udara} = \frac{\rho_{air} \cdot g \cdot SG_{mt} \cdot \Delta h_{mt}}{\rho_{udara} \cdot g}$$

$$\Delta h_{udara} = \frac{SG_{mt} \cdot \Delta h_{mt}}{SG_{udara}}$$

$$V = \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h} \quad (6)$$

Untuk mencari perubahan tekanan total, maka harus diketahui tekanan total (tekanan stagnasi) pada sisi masuk fluida (*inlet*) dan sisi keluar (*outlet*). Tekanan total dapat diketahui dengan menambahkan tekanan statis dan tekanan dinamis, Pada *inclined manometer* gambar 2.14 dapat diukur dengan pertambahan panjang fluida ukur akibat tekanan dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$P_{total} : \rho_{udara} \cdot g \cdot h_{udara} \quad (7)$$

Diketahuinya tekanan total yang ada pada sisi masuk (*inlet*) dan sisi keluar (*outlet*) fluida, perubahan tekanan total dapat diketahui. Dengan asumsi aliran steady flow jumlah aliran yang masuk sama dengan jumlah aliran yang keluar dengan itu kecepatan yang masuk sama dengan kecepatan keluar didapatkan dari persamaan bernoulli sebagai berikut :

$$\frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{V_A^2}{2 \cdot g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{V_A^2}{2 \cdot g} + Z_2 \quad (8)$$

$$\Delta P = \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g}$$

$$\Delta P = P_{outlet} - P_{inlet}$$

Dengan adanya aliran udara yang dihasilkan oleh sudu-sudu *blower* berupa

kecepatan udara maka kita dapat menghitung kapasitas aliran udara *blower* dan menentukan daya *blower*. Untuk kapasitas *blower* dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut .

$$Q = A \cdot V \left(\frac{m^3}{s} \right) \quad (9)$$

Daya fluida adalah besarnya daya yang diterima *blower* ketika aliran fluida melewati *blower*. Dengan adanya kapasitas aliran udara dan *head* tekanan dapat ditentukan dengan mengetahui perubahan tekanan total (ΔP) dapat di tentukan daya fluida dengan rumus sebagai berikut :

$$W_B = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (10)$$

Daya kerja motor adalah besarnya daya yang dibutuhkan untuk memutar motor. Daya kerja motor ini dapat dirumuskan sebagai berikut

$$W_M = V \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (11)$$

Efisiensi *blower* adalah perbandingan antara daya yang dipindahkan ke aliran udara dengan daya yang dikirimkan oleh motor ke *blower*. Untuk perhitungan efisiensi pada *blower* dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\text{Efisiensi } \eta = \frac{W_b}{W_m} \times 100\% \quad (12)$$

3. Metode penelitian

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental yang mempunyai beberapa metode dalam prosesnya. Dalam bab ini akan dijelaskan bagaimana penelitian ini dilakukan dan apa saja yang dibutuhkan untuk mendukung penelitian ini.:

3.1 Alat Pengujian

Wind tunnel memiliki ukuran dimensi yaitu ukuran panjang 100 cm dan pada sisi inlet dan outlet memiliki ukuran diameter 25 cm. Dapat dilihat pada gambar 6.

Keterangan Gambar :

1. Body wind tunnel
2. Pitot tube
3. Motor listrik 220V 50hz 1400rpm
4. Sudu *blower*
5. Inclined manometer

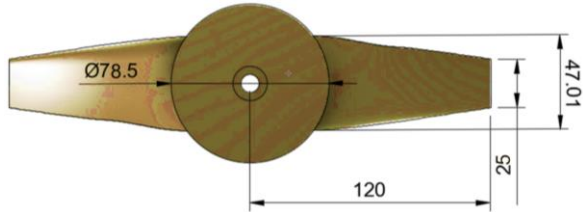
3.2. Alat Pengukuran

1. Inclined Manometer
2. Pitot Tube
3. Thermometer
4. Stopwatch
5. Clampmeter

3.3. Desain Perancangan Sudu

Sudu didesain dan dirancang menggunakan *software autodesk fusion 360*. *Blower* ini menggunakan 2 bilah sudu dengan

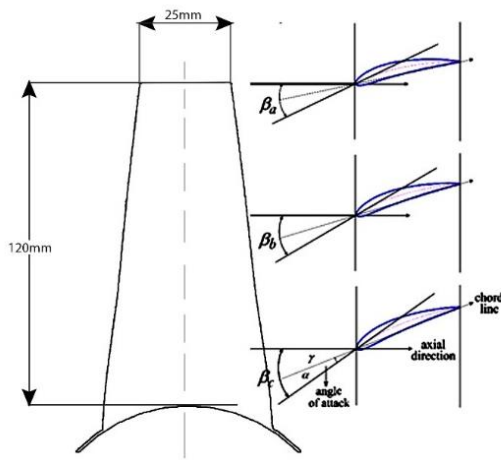
panjang keseluruhan 230 mm, diameter hub 15 mm dan diameter poros 8 mm. Untuk pencetakan sudu menggunakan 3d print *fuse filament fabrication* (FFF) dengan bahan plastik *polylactic acid* (PLA) . Penggunaan 3d print agar hasil sudu yang dihasilkan memiliki ukuran yang sesuai dan bentuk yang presisi.



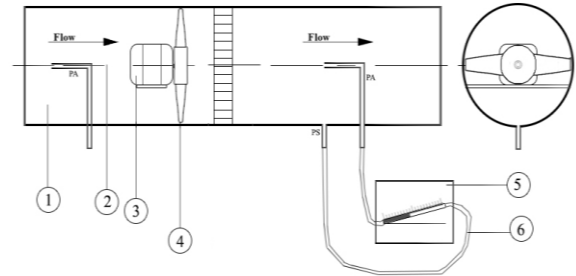
Gambar 4. Dimensi Sudu Blower

Variasi sudut masuk sepanjang span adalah sebagai berikut :

1. Variasi sudut sudu I :
 $\beta_a = 15^\circ, \beta_b = 20^\circ, \beta_c = 25^\circ$
2. Variasi sudut sudu II :
 $\beta_a = 20^\circ, \beta_b = 25^\circ, \beta_c = 30^\circ$
3. Variasi sudut sudu III :
 $\beta_a = 25^\circ, \beta_b = 30^\circ, \beta_c = 35^\circ$



Gambar 5. Sudut Masuk Sudu

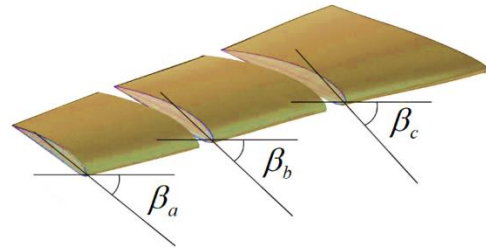


Gambar 6. Alat Pengujian Wind Tunnel

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Analisa Dan Pembahasan

Pengambilan data pengujian dilaksanakan bulan mei 2020. Dari percobaan yang dilakukan didapatkan data berupa pertambahan panjang fluida di mistar pada inclined manometer, temperatur pada sisi masuk wind tunnel, dan arus yang dibutuhkan motor blower . Data-data ini akan diolah dan dianalisa untuk mengetahui kecepatan aliran udara(V), kapasitas aliran udara (Q), perubahan tekanan total(Ptotal), daya blower (WB), daya motor (WM) dan nilai efisiensi blower.



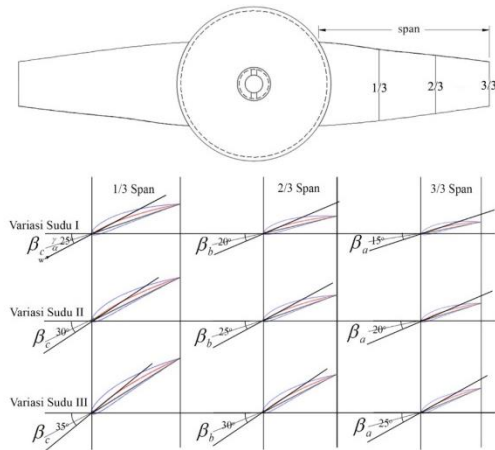
Gambar 7. Sudut Masuk Sudu

Tabel 1. Data Hasil Penelitian

SUDUT SUDU	β	Δh_{man} (mm)			Rata-rata Δr	Rpm	T ($^{\circ}C$)	I (A)
		Δr_1	Δr_2	Δr_3				
Sudut sudu variasi 1	$\beta_a = 15^\circ$	1.5	1.5	1.5	1.5	1400	30.5	0.140
	$\beta_b = 20^\circ$							
	$\beta_c = 25^\circ$							
Sudut sudu variasi 2	$\beta_a = 20^\circ$	2	2	2	2	1400	31	0.134
	$\beta_b = 25^\circ$							
	$\beta_c = 30^\circ$							
Sudut sudu variasi 3	$\beta_a = 25^\circ$	3	3	3	3	1400	31	0.128
	$\beta_b = 30^\circ$							
	$\beta_c = 35^\circ$							

Tabel 2. Data Hasil Penelitian

SUDUT SUDU	β	$\Delta J_{in} (mm)$			Rata-rata Δr	Rpm	T ($^{\circ}C$)	I (A)
		Δr_1	Δr_2	Δr_3				
Sudut sudu variasi 1	$\beta_a = 15^{\circ}$	5	5	5	5	1400	30.5	0.140
	$\beta_b = 20^{\circ}$							
	$\beta_c = 25^{\circ}$							
Sudut sudu variasi 2	$\beta_a = 20^{\circ}$	6	6	6	6	1400	31	0.134
	$\beta_b = 25^{\circ}$							
	$\beta_c = 30^{\circ}$							
Sudut sudu variasi 3	$\beta_a = 25^{\circ}$	7	7	7	7	1400	31	0.128
	$\beta_b = 30^{\circ}$							
	$\beta_c = 35^{\circ}$							

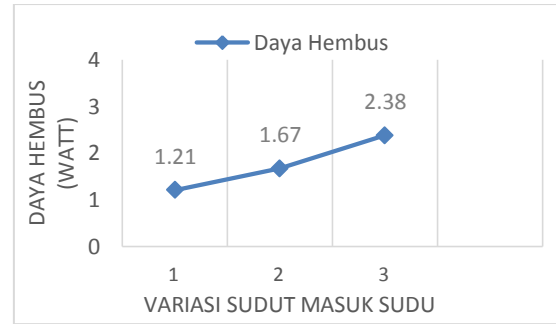


Gambar 8. Perbedaan Tiga Variasi Sudut Masuk Sudu Ssepanjang Span

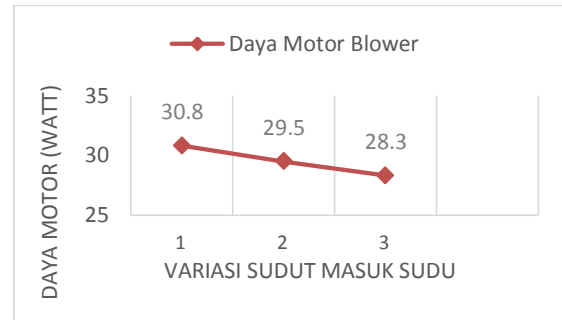
Tabel 3. Data Hasil Analisa Perhitungan

SUDUT SUDU	β	$\Delta h(I)$ (m)	$\Delta h(II)$ (m)	V (m/s)	Q (m ³ /s)	P_{teori} (N/m ²)	W_g (watt)	W_{te} (watt)	η (%)
Variasi 1	$\beta_a = 15^{\circ}$	0,282	0,94	2,33	0,313	10,59	1,21	30,8	3,9
	$\beta_b = 20^{\circ}$								
	$\beta_c = 25^{\circ}$								
Variasi 2	$\beta_a = 20^{\circ}$	0,376	1,13	2,7	0,332	12,71	1,67	29,5	5,6
	$\beta_b = 25^{\circ}$								
	$\beta_c = 30^{\circ}$								
Variasi 3	$\beta_a = 25^{\circ}$	0,585	1,31	3,3	0,383	14,73	2,38	28,3	8,4
	$\beta_b = 30^{\circ}$								
	$\beta_c = 35^{\circ}$								

Pada gambar 9 dapat diperhatikan yaitu daya kerja blower mengalami sebuah peningkatan dari variasi sudu No.1 ($\beta_a = 15^{\circ}$, $\beta_b = 20^{\circ}$, $\beta_c = 25^{\circ}$) ke sudu No.2 ($\beta_a = 20^{\circ}$, $\beta_b = 25^{\circ}$, $\beta_c = 30^{\circ}$) dan sudu No.3 ($\beta_a = 25^{\circ}$, $\beta_b = 30^{\circ}$, $\beta_c = 35^{\circ}$).

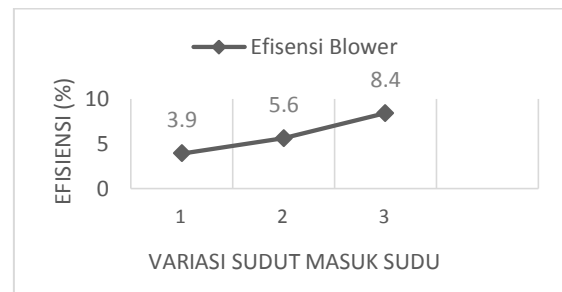


Gambar 9. Grafik Pengaruh Variasi Sudut Masuk Sudu Terhadap Daya Hembus Blower



Gambar 10. Grafik Pengaruh Variasi Sudut Masuk Sudu Terhadap Daya Motor Blower

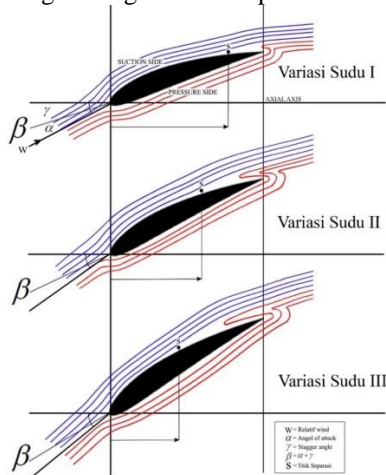
Pada gambar 10 dimana hal yang dialami motor penggerak blower mengalami penurunan daya yang dihasilkan. Variasi sudut masuk No.1 ($\beta_a = 15^{\circ}$, $\beta_b = 20^{\circ}$, $\beta_c = 25^{\circ}$) memerlukan daya yang paling besar karena udara mengalami hambatan untuk keluar sudu yang lebih kecil karena terjadi faktor tekanan balik atau *block pressure* dimana udara mengalami kompresi pada barisan antar sudu dan variasi sudut masuk No.3 ($\beta_a = 25^{\circ}$, $\beta_b = 30^{\circ}$, $\beta_c = 35^{\circ}$) memerlukan daya yang paling kecil.



Gambar 11. Grafik Pengaruh Variasi Sudut Masuk Sudu Terhadap Nilai Efisiensi

Pada gambar grafik 11 didapatkan nilai efisiensi mengalami peningkatan dengan variasi sudut masuk sudu No.3 ($\beta_a = 25^\circ$, $\beta_b = 30^\circ$, $\beta_c = 35^\circ$) yang mencapai nilai efisiensi tertinggi dengan presentase 8,4 % dan variasi sudut masuk No.1 ($\beta_a = 15^\circ$, $\beta_b = 20^\circ$, $\beta_c = 25^\circ$) dengan nilai efisiensi terkecil 3,9 %. Dan variasi sudut masuk No.3 memiliki nilai efisiensi terbesar 8,4 %. Jadi pengaruh variasi sudut masuk sudu sepanjang span sangat mempengaruhi karakteristik aliran fluida saat melintasi barisan sudu . Perubahan sudut sudu (desain sudu) menyebabkan perubahan momentum fluida kerja saat masuk dan keluar barisan sudu, yang sangat membantu untuk memprediksi terjadinya kerugian energi pada masing-masing variasi sudut sudu.

Karena daya hembus yang meningkat ini mengindikasikan bahwa besaran sudut masuk (β) belum mencapai besaran yang memberi kemungkinan terjadi pembebanan sudu (*blade loading*) yang maksimal. Konfigurasi susunan sudu dengan sudut beta (β) yang diperbesar maka kondisi separasi aliran pada *suction side* akan menguat sampai pada batas dimana $\Delta\beta$ akan turun drastis [5]. Viscous effect masih pada batas yang menguntungkan atau perbedaan tekanan sisi



Gambar 12. Variasi Sudu I s/d III Menunjukkan Indikasi Terjadi Pergeseran Titik Separasi Aliran Menuju ke Leading

5. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan pada bab-bab sebelumnya, dapat disimpulkan sebagai berikut yaitu, nilai efisiensi terbaik yang dihasilkan dari variasi sudut masuk sudu sepanjang span yaitu variasi No.3 ($\beta_a = 25^\circ$, $\beta_b = 30^\circ$, $\beta_c = 35^\circ$) dengan

bawah (*pressure side*) dengan sisi atas (*suction side*) pada gambar 12. dapat dilihat masih bernilai positif atau belum pada setting desain mencapai *stalling angle*.

Menaikan sudut beta (β) akan terjadi pembesaran *blade loading* yang mendorong terjadinya kenaikan energi aliran fluida sehingga kerja blower akan mengalami peningkatan sampai pada batas kenaikan beta yang menyebabkan terjadinya *vortex sekunder* yang akan diikuti oleh *blockage* aliran sehingga kenaikan tekanan yang diharapkan terganggu atau tidak dicapai[5]. Pada sudut beta (β) yang diperkecil tipe aliran sekunder membentuk *passage vortex* dekat dinding wall sehingga menyebabkan *blockage* massa yang akan diikuti oleh penurunan kerja blower [5].

Sudut beta (β) diperbesar maka massa udara akan mengalami gaya geser yang lebih besar karena bidang kontak yang lebih efektif yang membuat fluida seolah-olah mengalami pemuntiran. Jika sudut beta (β) terlalu kecil maka udara yang ditangkap oleh sudu tersebut sangat kecil, sehingga sudu tersebut hanya bisa mengalirkan udara yang kecil tetapi daya yang dibutuhkan untuk memutar sudu sangat besar, jadi antara kebutuhan daya dan aliran yang dihasilkan tidak optimal [4].

menghasilkan daya hembus $W_B = 2,38$ Watt dan daya motor yang diperlukan $W_M = 28,3$ Watt dengan nilai efisiensi $\eta = 8,4$ %.

Daftar Pustaka

- [1] Dietzel, Fritz, and Dakso Sriyono. 1988, *Turbin, Pompa Dan Kompreso*, Penerbit Erlangga, Jakarta..
- [2] Tanjung, A. S, 2015, *Studi Eksperimen Pengaruh Blade Setting Angle 30° Dan 60° Berprofil Flat Plate Terhadap Karakteristik Kerja Axial Fan 120m*, Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [3] Supartama, I Wayan, 2015, *Efek Pemuntiran Sudu Blower Terhadap Laju Aliran Massa*, Skripsi Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Udayana, Bali.
- [4] Suryawan, A.A.A 2008, *Kontur Tekanan Dinamis Pada Permukaan Atur Sisi Keluaran Kaskade Kompresor Aksial Blade Tipis*

Simetris Dengan Sudut Serang Bervariasi, *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CAKRAM Vol 2.1* (2008): 20-29.

- [5] Suryawan, A.A.A 2000, ***Pengaruh Blade Loading Terhadap Karakteristik Aliran Sekunder Pada Compressor Cascade Blade Tipis Simetris Bersudut Stagger Besar***, Thesis, Program Pasca Sarjana-Program Studi Teknik Mesin, ITS Surabaya.
- [6] Anderson. John D, Jr. 2007,, ***Fundamental of Aerodyanims, Fourth Edition***, Mc Graw Hill. Higher Education. New York.



I Gede Krisna Adianta, menyelesaikan sekolah menengah atas pada tahun 2016 di SMA Negeri 7 Denpasar Bali, kemudian ia melanjutkan ke Universitas Udayana mengambil jurusan Teknik mesin, dan menyelesaikan kuliahnya pada tahun 2020.

Bidang bidang penelitian yang diminati yaitu topik-topik mengenai konversi energi mekanika fluida, turbin pompa dan kompresor, dst.

Pengaruh Variasi Panjang *Span* Terhadap Kapasitas Udara *Blower* Aksial

W.N. Suherman, A.A.A. Suryawan, I.G.K. Sukadana
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit, Jimbaran Bali

Abstrak

Dalam mengoperasikan proses produksi didalam industri atau pabrik, hampir sebagian besar memerlukan peralatan pendukung proses, salah satunya adalah *blower*. *Blower* adalah alat yang umumnya digunakan untuk memindahkan atau mengalirkan atau mensirkulasikan fluida seperti udara atau gas. Sudu pada *blower* aksial memiliki bentuk dan panjang *span* yang berbeda-beda. *Span* adalah lebar bentangan aerofoil atau panjang dari pangkal sampai ujung sudu. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi panjang *span* terhadap kapasitas udara pada *blower* aksial. Variabel yang divariasikan yaitu panjang *span* *blower* aksial dengan panjang $S_1 = 105$ mm, $S_2 = 87,5$ mm, dan $S_3 = 70,0$ mm, sedangkan variable terikatnya yaitu kapasitas udara. Dari variasi panjang *span* yang telah di uji, variasi panjang *span* yang menghasilkan nilai kapasitas yang paling tinggi yaitu variasi panjang *span* 87,5 mm, dengan nilai kapasitas udara sebesar $0,086$ m³/s. *Span* 105 mm menghasilkan nilai kapasitas $0,063$ m³/s, dan *span* 70 mm menghasilkan nilai $0,047$ m³/s. Penelitian ini membuktikan bahwa perbedaan panjang *span* pada *blower* aksial akan mempengaruhi kemampuan sudu untuk menangkap banyak sedikitnya udara yang akan dihembuskan, dan kerugian energi akibat gesekan antara fluida kerja dengan permukaan *span*, yang secara umum akan mempengaruhi kapasitas udara yang akan dihasilkan *blower* aksial.

Kata kunci : *Blower* aksial, Kapasitas Udara, *Span*

Abstract

In operating a production process in an industry or factory, most of whom require process support equipment, one of which is a *blower*. A *blower* is a device that is generally used to move or flow or circulate fluids such as air or gas. The blades on axial *blowers* have different shapes and *span* lengths. *Span* is the width of the aerofoil stretch or the length from the base to the tip of the blade. This research aims to determine the effect of *span* length variations on air capacity in axial *blowers*. The variables that were varied were axial *blower* *span* length with length $S_1 = 105$ mm, $S_2 = 87,5$ mm, and $S_3 = 70,0$ mm, while the dependent variable was air capacity. From the variation of *span* length that has been tested, the variation of *span* length that produces the highest capacity value is the variation of the *span* length of 87.5 mm, with an air capacity value of 0.086 m³ / s. 105 mm *span* produces a capacity value of 0.063 m³ / s, and *span* 70 mm produces a value of 0.047 m³ / s. This research proves that the difference in *span* length in the axial *blower* will affect the ability of the blade to catch the amount of air to be exhaled, and energy losses due to friction between the working fluid and the *span* surface, which in general will affect the air capacity that will be produced by the axial *blower*.

Keywords : Axial *Blower*, Air Capacity, *Span*

1. Pendahuluan

Dalam mengoperasikan proses produksi didalam industri atau pabrik, hampir sebagian besar memerlukan peralatan pendukung proses, salah satunya adalah *blower*. *Blower* adalah alat yang umumnya digunakan untuk memindahkan atau mengalirkan atau mensirkulasikan fluida seperti udara atau gas.

Sudu merupakan komponen dari *blower* yang merupakan tempat proses terjadinya perubahan energi mekanis menjadi energi kinetis berupa kecepatan fluida udara [1]. Aliran fluida yang digerakan ada yang bersifat menghembuskan dan ada juga yang menghisap fluida, masing-masing tergantung dari faktor-faktor yang mempengaruhi aliran

udara, diantaranya bentuk sudu, sudut baling-baling, dan arah putaran sudu tersebut.

Sudu pada *blower* aksial memiliki bentuk dan panjang *span* yang berbeda-beda. *Span* adalah lebar bentangan aerofoil atau panjang dari pangkal sampai ujung sudu. Dari panjang *span* yang berbeda-beda ini muncul pertanyaan, mengapa demikian? Apa pengaruh dari bentuk atau panjang *span* yang berbeda-beda itu?. Maka dari itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari panjang *span* terhadap kapasitas udara pada *blower* aksial, apakah memiliki pengaruh terhadap optimalnya kapasitas udara yang dihasilkan.

Dari latar belakang permasalahan yang ada, dapat dirumuskan permasalahan yang

akan dibahas dalam penelitian ini yaitu bagaimanakah pengaruh dari variasi panjang *span* terhadap kapasitas udara pada *blower aksial*?

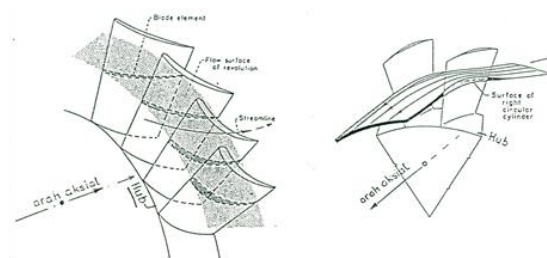
Tujuan dilakukannya penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh variasi panjang *span* terhadap kapasitas udara pada *blower aksial*. Untuk mendapatkan hasil dari luas permasalahan yang ada maka perlu dilakukan pembatasan antara lain:

1. Pengujian dilakukan pada *wind tunnel*
2. Analisa hanya pada pengaruh panjang *span*
3. Hasil akhir hanya menghitung kapasitas udara
4. Bahan dan kekasaran permukaan sudu diabaikan
5. Variasi Panjang *span* yang diuji yaitu $S_1 = 105$ mm, $S_2 = \frac{5}{6} S_1$ (87,5 mm), $S_3 = \frac{4}{6} S_1$ (70,0 mm).
6. Luas permukaan tiga variasi *span* sama
7. Putaran motor yang digunakan tetap

2. Dasar Teori

2.1 Blower Aksial

Blower aksial merupakan *blower* yang tipe aliran didalam rotor diarahkan secara aksial (alirannya sejajar poros), *blower* aksial tergolong *rotodynamic blower*, demikian pula halnya dengan *blower* sentrifugal/radial, dimana proses kompresi di dalamnya, dihasilkan dari efek dinamik antara sudu (*blade*) dengan fluida kerja, yang mengacu pada persamaan *moment of momentum*, dan tidak mengacu pada perubahan volume [2].

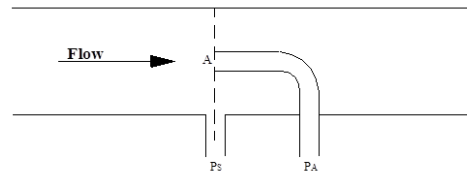


Gambar 1. Aliran Pada *Blower* Aksial

2.2 Perhitungan Performa *Blower*

Kecepatan udara dalam *wind tunnel* dapat dicari dengan menggunakan alat *inclined manometer*. Untuk mencari kecepatan fluida didalam pipa didapat dari rumus Bernoulli, dengan perbedaan tekanan stagnasi P_A dengan tekanan statis P_S adalah sebagai berikut.

$$P_A = P_S + \frac{v_A^2}{2g} \quad (1)$$



Gambar 2. Pengukuran tekanan stagnasi dan tekanan statis

Pada kondisi pengukuran tekanan diatas dimana titik 0 berimpit dengan titik A, titik 0 adalah titik stagnasi, sehingga persamaan diatas menjadi:

$$v^2 = 2 \cdot g \left[\frac{P_A - P_S}{\rho \cdot g} \right] \quad (2)$$

$$\text{Dimana, } \left[\frac{P_A - P_S}{\rho \cdot g} \right] = \Delta h, \quad (3)$$

$$\text{Sehingga, } v = \sqrt{2 g \Delta h} \quad (4)$$

Setelah kecepatan fluida di dapat, lalu mencari debit dari fluida dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Q = A \cdot v \quad (5)$$

Dimana: Q = debit aliran fluida (m^3/s)

A = luasan penampang (m^2)

v = kecepatan aliran fluida (m/s)

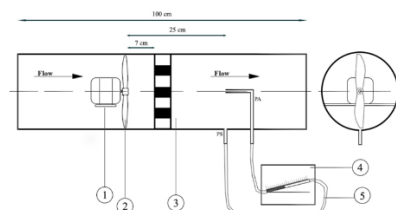
3. Metode penelitian

3.1 Variabel

Variable bebas yang digunakan pada tugas akhir ini yaitu variasi panjang *span* yang diuji, dengan panjang sebagai berikut: $S_1=105$ mm, $S_2=87,5$ mm, $S_3= 70,0$ mm. Sedangkan untuk variable terikatnya yaitu kapasitas aliran udara.

3.2 *Wind tunnel*

Wind Tunnel yaitu tempat untuk menyalurkan hembusan udara *blower* dimana bentuk dari *wind tunnel* ini silinder yang didalamnya sudah dipasang alat ukur untuk mengukur kecepatan udara yang mengalir [1].

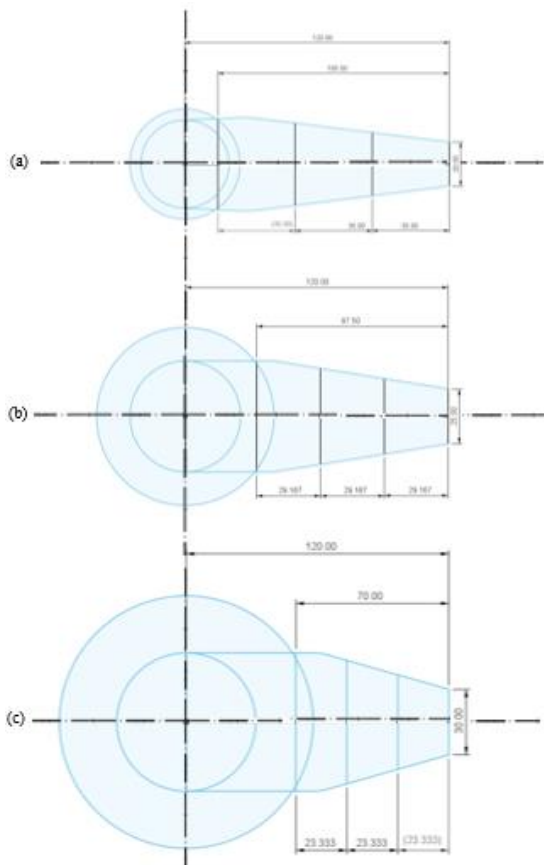


Gambar 3. *Wind Tunnel*

3.3 Sudu

Sudu dirancang menggunakan *Software Fusion 360* dan di cetak menggunakan *3D printing* dengan jumlah sudu dua buah dan berfungsi menghembuskan udara dengan memanfaatkan energi mekanis dari perputaran poros menjadi energi kinetis berupa kecepatan fluida (udara).

Dalam proses perancangan sudu, span terpanjang diambil atau dimulai dari 105 mm. perubahan variasi panjang *span* ini juga diikuti oleh perubahan besar *hub* (diperbesar), untuk menyesuaikan diameter sudu tiap variasi panjang *span* dengan diameter *wind tunnel* tetap sama. Jika perubahan panjang *span* tidak diikuti oleh perubahan besar *hub*, maka nilai *tip clearance* pun akan semakin besar dan titik pengukuran tekanan statis tidak terkena proyeksi hembusan udara, karena titik pengukuran tekanan statis dengan menggunakan *inclined* ini harus terkena proyeksi hembusan udara *blower*. Besar *hub* ini tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap hembusan udara yang akan dihasilkan karena kontak udara dengan *hub* terjadi *slip*.



Gambar 4. Dimensi (a) *Span I*, (b) *Span II*, (c) *Span III*

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Data Hasil Penelitian

Data yang diambil pada penelitian ini yaitu penambahan panjang fluida di mistar pada alat *inclined manometer* (Δr), temperature pada sisi masuk *wind tunnel* (T). Data-data ini akan diolah atau dibahas untuk mencari kecepatan aliran udara (v) dan kapasitas aliran udara (Q). Data-data hasil penelitian ini akan dilampirkan dalam bentuk tabel yaitu pada tabel 4.1.

Tabel 1. Data Hasil Penelitian

Variasi Panjang Span	Δr (Pengulangan)									Rpm	T (°C)
	r_{awal}	r_{akhir}	Δr_1	r_{awal}	r_{akhir}	Δr_2	r_{awal}	r_{akhir}	Δr_3		
variasi span 105 mm $\beta = 15^\circ$	74	74,5	0,5	74	74,5	0,5	74	74,5	0,5	1400	30,5
variasi span 87,5 mm $\beta = 15^\circ$	74	75	1	74	75	1	74	75	1	1400	30,5
variasi span 70,0 mm $\beta = 15^\circ$	74	74,3	0,3	74	74,3	0,3	74	74,3	0,3	1400	31

4.2 Pengolahan Data

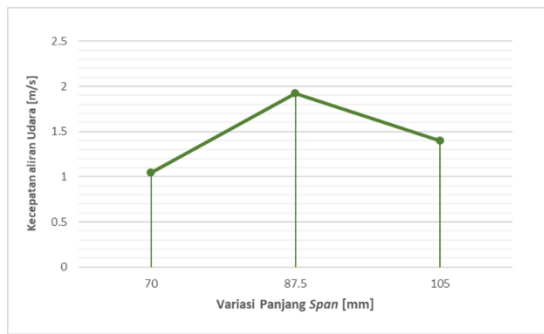
Mengukur kecepatan udara pada *wind tunnel* dengan *Inclined Manometer* didapat data awal berupa penambahan panjang fluida ukur (minyak tanah) pada mistar. Dengan sudut kemiringan 15° , dimana penambahan panjangnya dinyatakan dengan Δr , sehingga Δh dapat dicari.

4.3 Pembahasan Data

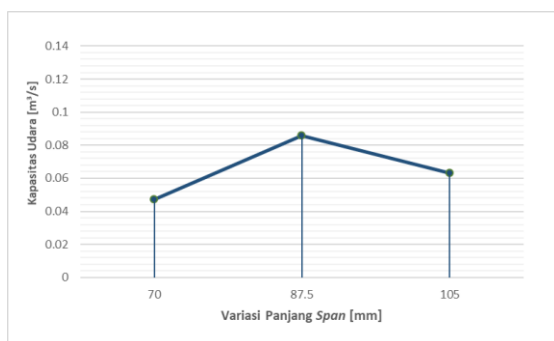
Tabel 2. Data Hasil Perhitungan

Variasi Panjang span	$\Delta h_{udara} (m)$			Rata-rata $\Delta h_{udara} (m)$	v (m/s)	T (°C)	Q ($\frac{m^3}{s}$)
	Δh_1	Δh_2	Δh_3				
Variasi span 105 mm $\beta = 15^\circ$	0,094	0,094	0,094	0,094	1,4	30,5	0,063
Variasi span 87,5 mm $\beta = 15^\circ$	0,188	0,188	0,188	0,188	1,919	30,5	0,086
Variasi span 70,0 mm $\beta = 15^\circ$	0,056	0,056	0,056	0,056	1,047	31	0,047

Berdasarkan tabel data hasil perhitungan (tabel 2) maka dapat dibuatkan grafik hubungan kapasitas udara (Q) terhadap variasi panjang *Span*.



Gambar 5. Grafik Hubungan Variasi Panjang Span Terhadap Kecepatan Aliran Udara



Gambar 6. Grafik Hubungan Variasi Panjang Span Terhadap Kapasitas Udara

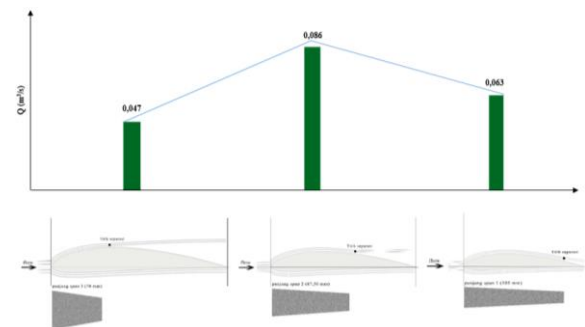
Pada gambar 5 dapat diperhatikan kecepatan udara mengalami peningkatan pada variasi panjang *span* 87,5 mm, kemudian mengalami penurunan pada variasi panjang *span* 105 mm. Hal ini juga dialami pada grafik kapasitas udara dimana peningkatan terjadi pada variasi panjang *span* 87,5 mm dan mengalami penurunan pada variasi panjang *span* 105 mm.

Pada variasi panjang *span* 70 mm memiliki panjang *span* yang paling pendek dari variasi yang lainnya, sehingga kemampuan *span* untuk menangkap udara untuk dihembuskan sangat kecil atau sedikit, dan mengakibatkan kapasitas udara yang dihasilkan pun juga bernilai kecil. Faktor panjang *chord* juga berpengaruh terhadap banyak atau panjangnya gesekan yang terjadi antara fluida kerja dengan permukaan *span*, sehingga mengakibatkan hilangnya energi akibat gesekan, dalam hal ini panjang *span* 70 mm yang memiliki nilai panjang *chord* yang paling besar, sehingga mengalami gesekan paling tinggi.

Pada gambar 7 dapat dilihat jika aliran di sepanjang *chord* masing-masing variasi *span* dengan momentum aliran fluida yang sama (potensi energi yang sama), dapat diindikasikan terdapat perbedaan reaksi atau

respon, akibat kontak antara fluida kerja dengan permukaan masing-masing *span*. Aliran pada panjang *span* 105 mm menunjukkan fluida kerja mengalir sepanjang *chord* dengan titik separasi berada hampir di ujung *chord* (*trailing edge*), dengan demikian distribusi fluida yang dihembuskan pun tidak terlalu banyak, karena fluida mengalir keluar meninggalkan *trailing edge* begitu saja.

Pada variasi panjang *span* 70 mm dengan *chord* yang panjang, lintasan aliran dibagian bawah (*lower side*) juga menjadi panjang, sehingga faktor gesekan yang terjadi pada permukaan (*skin friction*) *span* sangat besar yang mengakibatkan terjadinya *energy loss*.



Gambar 7. Perbandingan Aliran Yang Terjadi Pada Perbedaan Panjang Chord Masing-masing Variasi Span

Pada variasi panjang *span* 70 mm titik terjadinya separasi aliran pun terjadi di dekat *leading edge*, yang mengakibatkan udara yang baru akan dialirkan menjadi pecah, sehingga distribusi udara yang dihasilkan menjadi kecil.

Pada variasi panjang *span* 105 mm merupakan variasi *span* paling panjang diantara variasi lainnya, dengan nilai kapasitas udara lebih besar dari variasi panjang *span* 70 mm. Hal itu dapat terjadi dikarenakan variasi panjang *span* 105 mm memiliki panjang *span* yang lebih panjang, sehingga dapat lebih banyak menangkap udara dibanding variasi panjang *span* 70 mm. Namun dengan nilai panjang *span* yang besar tersebut, variasi panjang *span* 105 mm dapat mengalami defleksi pada sudut akibat *blade loading* dibandingkan dengan variasi panjang *span* 87,5 mm dan 70 mm.

Jika dibandingkan dengan variasi *span* 87,5 mm, panjang *span* yang dimiliki variasi *span* 105 mm lebih panjang, namun nilai kapasitas udara yang paling besar justru dimiliki variasi *span* 87,5 mm. Hal ini bisa terjadi dikarenakan adanya sedikit *slip* antara aliran udara dan permukaan variasi *span* 105 mm, karena panjang *chord* variasi *span* 105 mm yang lebih pendek dibandingkan variasi *span* 87,5 mm. Pada gambar 7 terlihat titik

separasi aliran variasi *span* 105 mm berada di belakang mendekati *trailing edge*, sehingga udara yang melewati permukaan *span* pada variasi *span* 105 mm menghasilkan hembusan udara yang kurang maksimal dibandingkan dengan variasi *span* 87,5 mm.

Pada variasi *span* 87,5 mm juga memiliki kemampuan untuk menangkap udara lebih bagus dibanding variasi *span* 70 mm karena panjang *span* nya tidak terlalu pendek, dan titik separasi aliran berada jauh dari *leading* dan *trailing edge*, sehingga potensi slip kecil dan hembusan yang dihasilkan maksimal. Gesekan yang terjadi antara fluida kerja dengan *span* pun lebih kecil karena panjang *chord* yang dimiliki tidak terlalu panjang sehingga energi yang terbuang pun lebih kecil.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai Pengaruh Variasi Panjang *Span* Terhadap Kapasitas Udara *Blower* Aksial, dapat disimpulkan bahwa:

Dari variasi panjang *span* yang telah di uji pada penelitian ini, ternyata variasi panjang *span* yang menghasilkan nilai kapasitas yang paling tinggi yaitu variasi panjang *span* 87,5 mm, dengan nilai kecepatan aliran udara sebesar 1,919 m/s dan kapasitas udara sebesar 0,086 m³/s. Penelitian ini membuktikan bahwa perbedaan panjang *span* pada *blower* aksial akan mempengaruhi kemampuan sudu untuk menangkap banyak sedikitnya udara yang akan dihembuskan, dan kerugian energi akibat gesekan antara fluida kerja dengan permukaan *span*.

Daftar Pustaka

- [1] I. W. Supartama, 2015, *Efek Pemuntiran Sudu Blower Terhadap Laju Aliran Massa*, Skripsi Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Udayana, Bali.
- [2] Dietzel, Fritz, and D. Sriyono, 1988, *Turbin, Pompa Dan Kompresor*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [3] T. L. Bergman, F. P. Incropera, D. P. DeWitt, and A. S. Lavine, 2011, *Fundamentals of heat and mass transfer*, John Wiley & Sons.
- [4] M. Cross, 1987, *Tenaga Angin*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- [5] H. T. Sularso, 2004, *Pompa dan Kompresor*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.

- [6] A. S. Tanjung, 2015, *Studi Eksperimen Pengaruh Blade Setting Angle 30° dan 60° Berprofil Flat Plate Terhadap Karakteristik Kerja Axial Fan 120 mm*, Skripsi Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.



Wayan Noven Suherman, menyelesaikan sekolah menengah atas pada tahun 2016 di SMA YP UNILA B.Lampung, kemudian ia melanjutkan ke Universitas Udayana dan mengambil jurusan Teknik mesin, dan menyelesaikan kuliahnya pada tahun 2020.

Topik yang diambil Pengaruh Variasi Panjang *Span* Terhadap Kapasitas Udara *Blower* Aksial.

Pengujian Eksperimental Tingkat Pendinginan Dan Dehumidifikasi Udara Pada Solid Dry Pad Sistim Indirect Evaporative Cooling

Pius Yulianto Daton Kedang, I Made Astika dan I Gusti Ngurah Nitya Santhiarsa

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Sistim pendingin evaporative merupakan sistim pendingin yang hemat energy dan ramah lingkungan yang menggunakan air dan udara sebagai sumber daya alami penggerak sistim. Sistim indirect evaporative cooling adalah salah satu jenis pendingin evaporative, yang mendinginkan udara tanpa menambah kandungan uap air udara, karena tidak ada kontak langsung antara udara dan air. Dalam penelitian ini akan dikembangkan sistim indirect evaporative cooling yang berbasis solid dry pad. Solid dry pad merupakan barisan pipa-pipa yang disusun sejajar dan berisikan es kering (dry ice) dengan variasi prosentase volume pengisian dry ice 50%, 75% dan 100%. Pengujian dilakukan dengan ketiga variasi volume solid dry pad tersebut pada kecepatan aliran udara konstan 9.5 m/s, dengan lama pengujian selama 60 menit, dengan rentang waktu pengambilan data setiap 5 menit. Dari hasil pengujian didapat bahwa sistim indirect evaporative cooling berbasis solid dry pad ini mampu secara signifikan memberikan efek pendinginan dan dehumidifikasi pada udara. Tingkat pendinginan dan dehumidifikasi yang dihasilkan bervariasi berdasarkan prosentase volume pengisian solid dry pad, dimana didapat selisih penurunan temperature bola kering sebesar masing-masing 2.6°C, 2.9°C dan 4.0°C serta selisih kelembaban relative udara masing-masing 8.1%, 8.6% dan 10.3% secara berurutan untuk variasi prosentase volume pengisian solid dry pad 50% (320 cm³), 75% (480 cm³) dan 100% (640 cm³). Dapat disimpulkan disini bahwa selisih penurunan temperature bola kering tertinggi sebesar 4°C dan selisih kelembaban relative tertinggi sebesar 10.3% dicapai pada prosentase volume pengisian solid dry pad 100%, sebagai akibat semakin rendahnya temperature dan meningkatnya luasan pendinginan pada permukaan pipa solid dry pad.

Kata kunci : Pendinginan dan dehumidifikasi, sistim indirect evaporative cooling, solid dry pad, hemat energy dan ramah lingkungan.

Abstract

An evaporative cooling system is an energy-saving and environmentally friendly cooling system that uses water and air as the natural resources driving the system. The indirect evaporative cooling system is one type of evaporative cooling, which cools the air without adding air moisture content, because there is no direct contact between air and water. In this study an indirect evaporative cooling system will be developed based on a solid dry pad. Solid dry pad is a line of pipes arranged in parallel and containing dry ice (dry ice) with variations in the percentage of dry ice filling volume of 50%, 75% and 100%. The test was carried out with the three variations of the volume of the solid dry pad at a constant air flow rate of 9.5 m / s, with a length of testing for 60 minutes, with a data collection time span every 5 minutes. From the test results it was found that the indirect evaporative cooling system based on solid dry pad was able to significantly provide a cooling and dehumidification effect on the air. The resulting cooling and dehumidification levels vary based on the percentage of the volume of the solid dry pad filling, where the difference in temperature of the dry ball is decreased by 2.6°C, 2.9°C and 4.0°C as well as the relative humidity difference of the air respectively 8.1%, 8.6% and 10.3% sequentially for variations in the volume of filling of solid dry pad 50% (320 cm³), 75% (480 cm³) and 100% (640 cm³). It can be concluded here that the difference in the highest dry ball temperature reduction by 4°C and the highest relative humidity difference of 10.3% is achieved at the percentage of the 100% solid dry pad filling volume, as a result of lower temperature and increased cooling area on the surface of the solid dry pad pipe.

Keywords: Cooling and dehumidification, indirect evaporative cooling system, solid dry pad, energy saving and environment friendly.

1. Pendahuluan

Beberapa peneliti diantaranya melaporkan bahwa coolpass bird eye mesh fabric dan bamboo charcoal coolmax active fabric memiliki potensi yang besar untuk digunakan sebagai material penukar panas dan massa pada sistim IEC [1]. Kemudian yang mempelajari sistim indirect evaporative cooling yang baru, menggunakan pipa keramik berpori (porous ceramic tube) sebagai material penukar panas dan massa [2]. Dari hasil penelitian tersebut didapat bahwa sistim indirect evaporative cooling

yang baru ini, dapat menghemat konsumsi energy pompa sebesar 95% dan menghasilkan COP tertinggi 34.9, pada kondisi udara yang panas dan kering, sistim ini mampu memberikan efisiensi bola basah (wet bulb efficiency) antara 40.3-42.2%. Peneliti yang mempelajari perbandingan sistim indirect evaporative cooling yang menggunakan plat aluminium sebagai material penukar panas dan massa dan sistim semi-indirect evaporative cooling dengan material solid porous ceramics [3]. Dari hasil penelitian tersebut didapat bahwa sistim semi –

indirect evaporative cooling menghasilkan performansi pendinginan yang lebih baik dari sistim indirect evaporative cooling, karena pada sistim IEC hanya terjadi perpindahan panas sensible udara luar ke saluran basah sistim, sedangkan pada sistim SIEC dimungkinkan terjadinya perpindahan panas laten dan panas sensible udara luar akibat penggunaan material keramik berpori. Kemudian peneliti yang melakukan penelitian sistim IEC berbasis I-SDP dengan variasi kecepatan aliran udara, yang menghasilkan penurunan temperatur dan kelembaban udara yang cukup signifikan [4]. Pada penelitian tersebut diatas, hanya dilakukan uji performansi pendinginannya saja, sedangkan proses termodinamika udara yang terjadi, tidak dibahas terlalu mendalam.

Adapun batasan masalah dari penelitian ini dapat dituliskan antara lain :

1. Temperatur lingkungan dianggap konstan.
2. Pengaruh susunan pad tidak diperhitungkan
3. Fan yang di gunakan adalah fan dengan variasi kecepatan aliran udara.
4. Pengujian dilakukan dalam ruangan.
5. Pengambilan data dilakukan setelah terjadinya kondensasi pada pipa *dry ice*.
6. Proses termodinamika udara yang dimaksud adalah perubahan temperature bola kering dan kandungan uap air udara.
7. Cooling pad terdiri dari 20 batang pipa berbentuk balok dengan dimensi masing-masing pipa, panjang x lebar x tinggi = 4 cm x 4 cm x 40 cm, yang disusun secara inline (sejajar) dan berjarak masing masing pad adalah 15 mm.
8. Kecepatan aliran udara ditetapkan = 9.5 m/s

2. Dasar Teori

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].

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

3. Metode Penelitian

Pengujian dew point cooling system ini dilakukan dengan memvariasikan kecepatan aliran udara masuk, prosentase volume pengisian pipa. Adapun langkah-langkah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Persiapkan peralatan dan perlengkapan yang akan digunakan, pasang thermometer bola kering dan thermometer bola basah di tempat yang telah ditentukan.
2. Atur putaran fan pada kecepatan $V_{ud} = 9.5$ m/s
3. Pasang solid dry pad dengan volume pengisian dry ice 100% (640 cm^3) susunan in-line

4. Setelah sistim siap, hidupkan fan, lakukan pencatatan temperature bola kering dan bola basah pada sisi masuk fan, sisi masuk pad dan sisi keluar pad setiap 5 menit dalam rentang waktu selama 60 menit
5. Lakukan pengulangan b - d untuk volume pengisian dry ice 75% (480 cm^3) dan 50% (320 cm^3)
6. Analisa hasil pengujian.

4. Hasil dan Pembahasan

Dalam penelitian ini, kecepatan aliran udara diatur pada kecepatan konstan $V_{30} = 9.5$ m/s dengan variasi prosentase volume pengisian dry ice pada solid dry pad (SDP)

50% (320 cm^3),

75% (480 cm^3), dan

100% (640 cm^3).

4.1. Data Temperatur bola basah dan bola kering pada volume SDP 50% (320 cm^3).

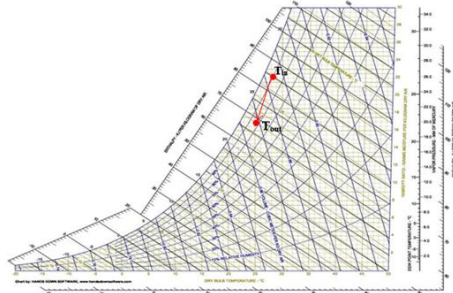
Pengujian yang dilakukan adalah dengan kecepatan aliran udara 9.5 m/s dan volume SDP 50%.

Tabel 1. TwB dan TdB

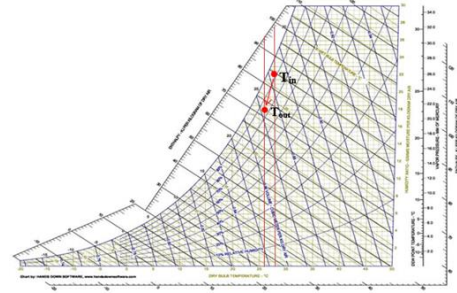
Kecepatan Udara (m/s)	Waktu (Menit)	T1 (°C)		T2 (°C)		T3 (°C)	
		TdB 1	TwB 1	TdB 2	TwB 2	TdB 3	TwB 3
(9,5)	0	28,5	27,6	27,2	23	27	26,5
	5	27,8	27,6	27,5	24,5	20,1	19,5
	10	26,8	27,5	27,5	23	23,6	22,1
	15	28,5	27,5	27,6	23	24,2	22,5
	20	28,6	27,5	27,5	23	24,6	22,8
	25	28,5	27,4	27,8	23	25,4	23,1
	30	28,6	27,4	27,8	23,2	26,4	23,8
	35	28,7	27,4	27,8	23,3	26,8	24,1
	40	28,7	27,3	27,8	23,3	27	24,4
	45	28,8	27,3	27,9	23,4	27,4	24,5
	50	28,8	27,2	27,9	23,5	27,6	24,9
	55	28,8	27,2	27,9	23,7	27,8	25
	60	28,7	27,2	28,1	24,2	28	25,3
Rata-Rata		28,44	27,39	27,71	23,39	25,83	23,73

Tabel 2. Kelembaban Relatif

Kecepatan Udara (m/s)	Waktu (Menit)	T1	T2	T3
		RH (%)	RH (%)	RH (%)
30 (9,5)	0	93,3	70,2	96,1
	5	98,4	78,4	94,6
	10	105,4	68,5	87,9
	15	92,6	67,9	86,5
	20	91,9	68,5	85,9
	25	91,9	66,7	82,4
	30	91,2	68,1	80,7
	35	90,5	68,8	80,2
	40	89,8	68,8	80,9
	45	89,1	68,7	79,1
	50	88,4	69,3	80,4
	55	88,4	70,6	79,8
	60	89,1	72,7	80,6
Rata - Rata		92,3	69,7	84,2



Gambar 1. Diagram psikrometrik proses termodinamika udara dengan volume SDP 50% (320 cm³)



Gambar 2. Diagram psikrometrik proses termodinamika udara dengan volume SDP 75% (480 cm³)

4.2. Data Temperatur bola basah dan bola kering pada volume SDP 75% (480 cm³).

Pengujian yang dilakukan adalah dengan kecepatan aliran udara 9.5 m/s dan volume SDP 75% (480 cm³)

Tabel 3. TwB dan TdB

Kecepatan (m/s)	Waktu (Menit)	T1 (°C)		T2 (°C)		T3 (°C)	
		TdB 1	TwB 1	TdB 2	TwB 2	TdB 3	TwB 3
9.5	0	28.7	28.8	27.5	27.6	27.6	28.5
	5	27.8	26.5	27.6	23.2	20.5	21
	10	27.7	26.6	27.7	23.3	21.9	21.5
	15	27.7	26.5	27.8	23.3	22.1	21.8
	20	27.4	26.5	27.9	23.2	23	22.8
	25	27.4	26.5	28	23.2	24.6	23.8
	30	27.9	26.6	28	23.3	25.5	24.1
	35	27.7	26.5	28.1	23.1	25.3	24.5
	40	27.2	26.1	28.1	23.1	25.6	24.6
	45	27.5	26.5	28.1	23	26.8	24.7
	50	27.3	26.2	28.2	22.9	26.1	24.7
	55	27.6	26.5	28.2	22.9	26.3	24.8
60	27.6	26.5	28.1	23	27.4	24.8	
Rata-Rata		27.6538	26.6385	27.9462	23.4692	24.8230	23.9692

Tabel 4. Kelembaban Relatif

Kecepatan (m/s)	Waktu (Menit)	T1	T2	T3
		RH (%)	RH (%)	RH (%)
9,5	0	100.7	100.7	100.7
	5	90.3	69.2	81.5
	10	91.8	69.2	81.6
	15	91	68.7	81.4
	20	93.2	67.5	81.1
	25	93.2	66.9	82.6
	30	90.4	67.5	83.2
	35	91.1	65.7	83.4
	40	91.7	65.7	84.1
	45	92.5	65.1	84.4
	50	91.7	63.9	82.4
	55	91.8	63.9	82.4
60	91.8	65.1	81.1	
Rata		92.4	69.2	83.8

4.3. Data Temperatur bola basah dan bola kering pada volume SDP 100% (640 cm³).

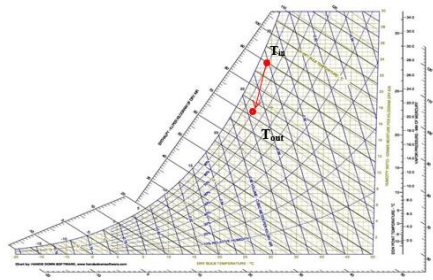
Pengujian yang dilakukan adalah dengan kecepatan aliran udara 9.5 m/s dan volume SDP 75% (480 cm³)

Tabel 5. TwB dan TdB

Kecepatan (m/s)	Waktu (Menit)	T1 (°C)		T2 (°C)		T3 (°C)	
		TdB 1	TwB 1	TdB 2	TwB 2	TdB 3	TwB 3
9,5	0	28,5	27,9	27,5	27,8	28,2	27,5
	5	28,5	27,7	27,2	26,2	20,1	20,2
	10	28,3	27,7	27	26	20,1	21,2
	15	28,5	27,5	27,2	26,1	20,6	21,4
	20	28,5	27,5	27,2	26,1	21,9	22
	25	28,5	27,5	27,3	26,2	23,7	22,9
	30	28,4	27,5	27,2	26,2	25	23,8
	35	28,5	27,4	27,4	26,2	25,6	24,4
	40	28,5	27,4	27,5	26,2	26	24,7
	45	28,5	27,4	27,5	26,2	26,3	24,7
	50	28,4	26,2	27,5	26,3	26,5	24,9
	55	28,5	26,2	27,5	26,3	26,7	25
60	28,1	26,2	27,7	26,5	26,9	25,1	
Rata-Rata		28,438	27,1615	27,3615	26,3308	24,4308	23,6769

Tabel 6. Kelembaban Relatif

Kecepatan (m/s)	Waktu (Menit)	T1	T2	T3
		RH (%)	RH (%)	RH (%)
30 (9,5m/s)	0	94.8	102,2	95.5
	5	100.8	92,4	94.1
	10	110	92,4	95.5
	15	107.1	91,7	92.6
	20	100.8	91,7	92.6
	25	93.5	91,7	92.6
	30	90.5	92,4	93.3
	35	90.7	91	91.9
	40	90	90,3	91.9
	45	87.8	90,3	91.9
	50	87.9	91	84.2
	55	87.2	91	83.5
60	86.5	91	86.2	
Rata		94.4	92.2	84.1



Gambar 3. Diagram psikrometrik proses termodinamika udara dengan volume SDP 100% (640 cm³)

5. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian eksperimental sistem indirect evaporative cooling berbasis solid dry pad ini adalah sistem indirect evaporative cooling berbasis solid dry pad ini pada prosentase pengisian solid dry pad 100% (640 cm³) mampu menurunkan tingkat pendinginan dan dehumidifikasi udara hingga tingkat yang cukup signifikan, dimana dengan sistem indirect ini udara mampu didinginkan hingga mencapai temperature bola kering terendah 24.43°C dengan tingkat kelembaban relative rata-rata terendah sebesar 83.9%. Dalam pengujian ini didapat bahwa selisih penurunan temperature bola kering udara tertinggi sebesar 4°C dan selisih penurunan kelembaban relative tertinggi sebesar 10.3% terjadi pada prosentase volume pengisian solid dry pad 100% (640 cm³). Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa sistem indirect evaporative cooling berbasis solid dry pad dapat dikatakan mampu menghasilkan udara produk yang dingin dan kering melalui proses termodinamika pendinginan dan dehumidifikasi yang cukup signifikan.

Daftar Pustaka

- [1] Peng Xu et.al., 2016, *Numerical investigation of the energy performance of a guideless irregular heat and mass exchanger with corrugate heat transfer surface for dew point cooling*, Energy, 109, pp. 803-817. Available at:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2016.05.062>
- [2] Fenghao Wang et.al., 2017, *Experimental Research On A Novel Porous Ceramic Tube Type Indirect Evaporative Cooler*, Applied Thermal Engineering, 125, pp 1191-1199. Available at:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.07.111>.
- [3] F.J. Rey Martinez et.al., 2004, *Comparative Study Of Two Different Evaporative System: An Indirect Evaporative Cooler And A Semi-Indirect Ceramic*

Evaporative Cooler. Energy and Buildings, 36(7), pp 696-708.

- [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*, Journal Proton, Volume 3, Nomor 1.



Pius Yulianto Daton Kedang 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.

Inhibitor Alami Dari Ekstrak Kulit Buah Naga Dalam Hubungannya Dengan Laju Korosi Pada Material Baja Api 51 Grade B

Abraham Santo Christian Simanjuntak^{1)*}, I Nyoman Budiarsa¹⁾, I Nyoman Gde Antara¹⁾, Gadang Priyotomo²⁾, Arini Nikitasari²⁾, Ahmad Royani²⁾, Sundjono²⁾

1) Program Studi Teknik Mesin, Universitas Udayana Kampus Bukit Jimbaran, Bali 80362

2) Research Center for Metallurgy and Materials-Indonesian Institute of Sciences, Kawasan PUSPIPTEK, Serpong, Tangerang Selatan 15314, Banten, Indonesia

Abstrak

Kulit buah naga merah merupakan salah satu bahan alami yang berpotensi sebagai inhibitor alami untuk menurunkan laju korosi pada Baja API 5L Grade B. Inhibitor kulit buah naga merah diharapkan dapat menjadi inhibitor yang ramah lingkungan serta aman digunakan. Metode Polarisation Tafel dan Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) digunakan untuk mengetahui nilai laju korosi (mpy) dan nilai tahanan interface layer (Rct) pada setiap konsentrasi inhibitor dengan variasi konsentrasi 5 ppm, 10 ppm, 15 ppm, dan 20 ppm dalam medium korosi larutan NaCl dan HCl. Hasil yang diperoleh menunjukkan ekstrak kulit buah naga cukup efektif dalam medium korosi larutan NaCl 3,5% dan HCl dengan pH 3. Ekstrak kulit buah naga bekerja cukup optimal dan mampu menghambat laju korosi hingga 56,54% dan nilai tahanan $3,84 \times 10^8$ ohm pada medium korosi larutan NaCl dan 89,1% dengan nilai tahanan transfer $4,18 \times 10^3$ ohm pada medium korosi HCl. Pada pengujian weightloss diperoleh hasil produk korosi dan menghasilkan fase-fase kristalisasi yang dapat diketahui menggunakan pengujian x-ray diffraction (XRD). Hasil yang diperoleh pada pengujian XRD bahwa pada produk korosi dalam larutan NaCl menghasilkan FeO_2 (Lepidocrocite) dan $\gamma-Fe_2O_3$ (Maghemite) sedangkan pada produk korosi dalam larutan HCl menghasilkan oleh fase Fe_3O_4 (Magnetite) dan FeO_2 (Lepidocrocite).

Kata kunci: Korosi ; Baja API 5L Grade B ; Kulit buah naga merah ; Inhibitor alami ; Elektrokimia ; Laju korosi ; Efisiensi inhibisi

Abstract

Red pitaya peels are one of the organic materials that can be developed as an green inhibitor to reduce the corrosion rate in Carbon Steel API 5L Grade B. Inhibitor of extract red pitaya peels are expected to be environmentally friendly, and safe to be used. Tafel method and Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) are used to determine optimal extract of inhibitors with variation in concentration 0 ppm, 5 ppm, 10 ppm, 15 ppm, and 20 ppm in corrosion solution NaCl 3,5% and HCl with pH 3. Extract of red pitaya is effective as an inhibitor and can inhibit the corrosion rate up to 56,54% and transfer resistance (R_p) up to $3,84 \times 10^8$ ohm in corrosion solution NaCl. In corrosion solution HCl the inhibitor can inhibit the corrosion up to 89,1% and charge transfer resistance (R_p) up to $4,18 \times 10^3$ ohm. Weightloss method produce corrosion product and crystallization phases that can be known with the x-ray diffraction method (XRD). The result obtained on the XRD test is the corrosion product in the NaCl solution produced the FeO_2 (Lepidocrocite) and $\gamma-Fe_2O_3$ (Maghemite) phase whereas the corrosion product in the HCl solution produced the Fe_3O_4 (Magnetite) and FeO_2 (Lepidocrocite) phase.

Keywords: Corrosion; Carbon Steel API 5L Grade B ; Red pitaya ; Organic inhibitor ; Electrochemistry ; Corrosion rate ; inhibition efficiency.

1. Pendahuluan

Korosi adalah kerusakan atau degradasi logam akibat reaksi redoks antara suatu logam dengan berbagai zat di lingkungannya yang menghasilkan senyawa-senyawa yang tidak dikehendaki[1]. Pada kerusakan yang diakibatkan korosi, logam mengalami reaksi oksidasi, sedangkan oksigen di udara mengalami reaksi reduksi. Karat logam pada umumnya adalah berupa oksida atau karbonat. Ada beberapa teknik untuk mengatasi korosi. Salah satu cara adalah dengan melapisi permukaan material, seperti cat, dapat melindungi material dari kontak air

dan udara. Akan tetapi pelapisan menggunakan cat tidak bertahan lama. Pemberian zat inhibitor korosi pada logam menjadi salah satu cara untuk menghambat laju korosi. Zat inhibitor merupakan senyawa kimia yang ditambahkan dalam jumlah yang kecil kedalam media yang berguna untuk menghambat laju korosi. Pada umumnya inhibitor berasal dari senyawa-senyawa organik dan anorganik. Inhibitor korosi mengandung senyawa seperti nitrit, kromat, fosfat, urea, fenilalanin, imidazolin dan senyawa amina[2]. Akan tetapi inhibitor korosi yang berasal dari bahan sintesis

merupakan bahan kimia yang sangat berbahaya, dan dapat merusak lingkungan dalam proses pembuatan maupun pemakaiannya. Salah satu alternatif yaitu menggunakan inhibitor alami yang berasal dari ekstrak alami. Inhibitor alami bersifat lebih *bio-gradable* dan lebih murah dibandingkan inhibitor anorganik. Penggunaan produk alami sebagai inhibitor korosi dibuktikan dengan senyawa fitokimia yang kandungannya mendekati sama dengan inhibitor alami. Inhibitor alami pada umumnya memiliki senyawa flavanoid yang mengandung antioksidan dan berpengaruh terhadap laju korosi. Kulit pada buah naga juga memiliki kandungan antioksidan yang tinggi. Pemilihan inhibitor alami pada kulit buah naga merah dikarenakan pada kulit buah naga merah mengandung betalain yang memiliki aktivitas antioksidan [3]. Ekstrak kulit buah naga merah memiliki aktivitas antioksidan dengan nilai IC_{50} sebesar 43,836 $\mu\text{g/mL}$ [4]. Spesimen baja karbon yang digunakan adalah Baja API (*American Petroleum Institute*) 5L Grade B. Baja karbon ini biasanya banyak digunakan pada proses fabrikasi dan digunakan dalam proses transportasi minyak dan gas. Pada pengujian ini Baja API 5L Grade B direndam pada medium korosi larutan NaCl 3,5% dan HCl pada pH 3 pada penambahan variasi inhibitor 0 ppm, 5 ppm, 10 ppm, 15 ppm, dan 20 ppm. Sampel baja hasil korosi akan diuji pada pengujian elektrokimia untuk mengetahui laju korosi dan ketahanan pada spesimen uji. Baja API 5L Grade B akan diuji dengan menggunakan metode *weightloss* pada medium korosi natrium klorida 3,5% dan asam klorida pada pH 3 tanpa penambahan inhibitor. Hasil korosi pada pengujian kehilangan berat akan diuji menggunakan XRD (*X-ray Diffraction*) yang bertujuan untuk mengetahui fase-fase kristalisasi produk korosi dan *peak intensity* pada spesimen uji.

2. Metode

2.1 Persiapan bahan ekstrak, spesimen uji, larutan medium korosi

Kulit buah naga merah dibersihkan dengan air bersih lalu dihaluskan dan direndam dalam pelarut alkohol 70% selama 48 jam. Selanjutnya dilakukan penyaringan hingga mendapatkan hasil maserasi. Kemudian hasil maserasi diuapkan dengan evaporator sehingga diperoleh ekstrak dari kulit buah naga merah. Selanjutnya pembuatan spesimen baja api dengan diameter 1cm, kemudian dikoneksikan dengan kabel dan dilakukan proses *mounting*. Setelah itu dilakukan proses pemolesan permukaan spesimen menggunakan mesin poles hingga 1200 grit dan dilakukan proses pengujian menggunakan larutan NaCl dengan konsentrasi 3,5% dan HCl dengan pH 3 dengan penambahan variasi inhibitor 0 ppm, 5 ppm, 10 ppm, 15ppm, dan 20 ppm. Kemudian pembuatan spesimen dengan diameter 30 cm. Selanjutnya spesimen dihaluskan menggunakan *surface grinding* dan dipoles dengan mesin poles hingga grit 1200 kemudian diuji kehilangan berat dengan medium

korosi larutan NaCl dengan konsentrasi 3,5% dan HCl dengan pH 3.

2.2 Pengujian elektrokimia

Pengujian elektrokimia menggunakan metode Polarisis Tafel dan EIS. Pengujian elektrokimia menggunakan peralatan uji potensiostat yang sesuai dengan ASTM G-87.



Gambar 1. Alat uji potensiostat

Pada alat uji potensiostat terdapat *reference electrode* yang berfungsi untuk mengukur nilai potensial dan Kabel platina yang berfungsi sebagai *counter electrode*, dan elektroda kerja merupakan spesimen Baja API 5L Grade B. Pengujian polarisis tafel menggunakan 250 mL larutan uji yang berisi variasi inhibitor ekstrak kulit buah naga merah dalam larutan NaCl 3,5% dan HCl pH 3. Dalam pengujian polarisis tafel, kurva tafel ditentukan pada kurva katoda dan anoda dengan kondisi ± 250 mV. Analisa data menggunakan software Gamry 6.25. Pengulangan dilakukan sebanyak 3 kali pada setiap pengujian dan dilakukan pada kondisi ruangan terbuka pada suhu ruangan. Perbandingan efisiensi inhibitor dijadikan sebagai pengukuran efektivitas inhibitor pada setiap penambahan konsentrasi inhibitor yang didapat melalui persamaan berikut :

$$EI(\%) = ((CR_0 - CR_i) / CR_0) \times 100\% \quad (1)$$

Dimana CR_0 adalah laju korosi tanpa inhibitor dan CR_i adalah laju korosi dengan penambahan konsentrasi inhibitor.

2.3 Pengujian kehilangan berat dan XRD

Pada pengujian kehilangan berat menggunakan spesimen dengan diameter 30 dan dibersihkan sesuai dengan ASTM G-1. Analisa pada pengujian *weightloss* dilakukan pada pengukuran berat awal dan berat sesudah pengujian spesimen. Untuk menentukan laju korosi dengan metode kehilangan berat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$CR = \frac{K \cdot W}{DAT} \quad (2)$$

Dimana CR merupakan *corrosion rate* (mpy), K adalah konstanta, W merupakan hasil perbandingan antara pengukuran berat awal dan berat sesudah pengujian, D merupakan densitas spesimen (g/cm^3), A merupakan luas penampang spesimen (cm^2) dan T adalah waktu ekspos (jam). Setelah dilakukan pengujian kehilangan berat lalu produk hasil korosi

pada medium korosi larutan NaCl dan HCl akan langsung diuji menggunakan pengujian XRD untuk mengetahui fase kristalisasi pada produk korosi tersebut.

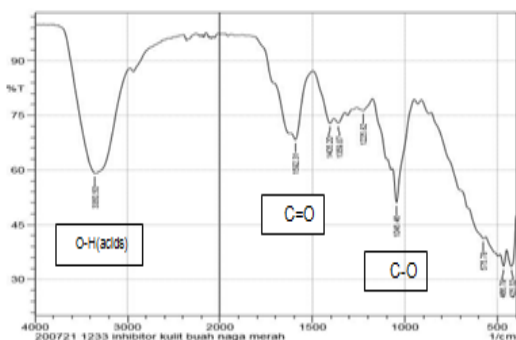


Gambar 2. Pengujian weightloss

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1 Uji FTIR pada kulit buah naga merah

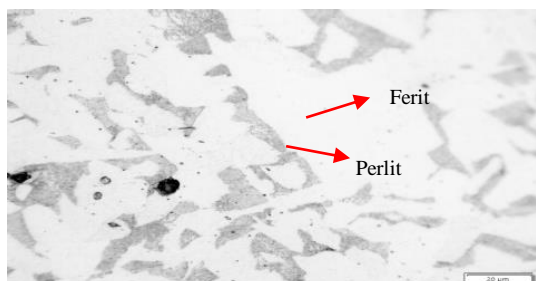
Pengujian kandungan senyawa pada ekstrak kulit buah naga dilakukan dengan pengujian FTIR dengan menghasilkan gugus-gugus fungsi pada ekstrak kulit buah naga merah terdapat gugus fungsi meliputi O-H (acids), C=O, dan C-O yang didapat melalui data frekuensi literatur. Gugus-gugus fungsi berikut menghasilkan senyawa flavanoid yang biasanya terdapat pada inhibitor alami.



Gambar 3. Hasil uji FTIR

3.2 Uji metallografi pada Baja API 5L Grade B

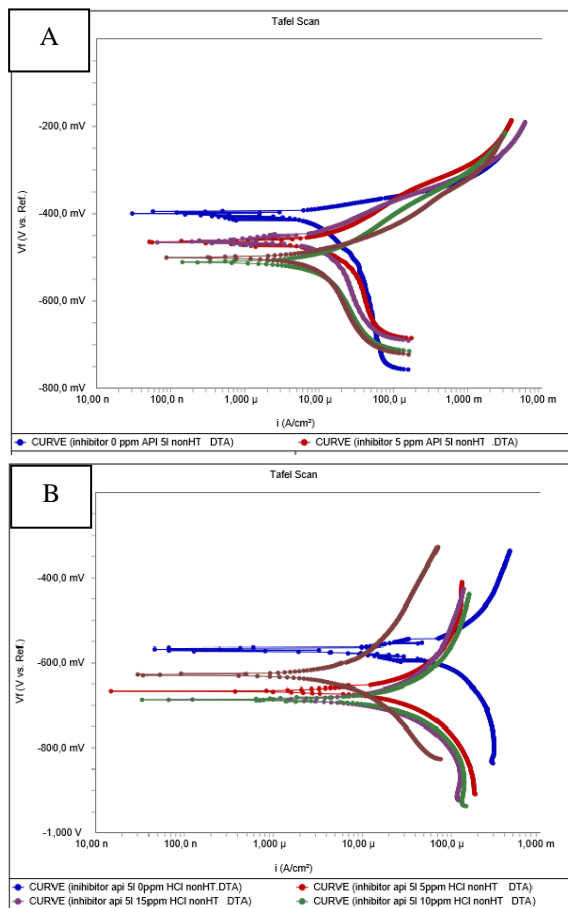
Pada gambar 4 dapat dilihat karakteristik ferit-perlit pada spesimen uji dimana *grain size* yang terdapat pada spesimen uji senilai 39,25 μm yang diperoleh dengan aplikasi *freeware imageJ*.



Gambar 4. Hasil uji metallografi

3.3 Pengujian polarisasi tafel

Pada Gambar 5 menunjukkan hasil pengujian polarisasi pada medium korosi larutan NaCl 3,5‰ (a) dan hasil pengujian polarisasi pada larutan HCl pH 3 (b). Data yang didapat pada kurva polarisasi tafel adalah laju korosi (mpy), potensial korosi (E_{corr}), dan rapat arus korosi (I_{corr}).



Gambar 5. Grafik hasil pengujian polarisasi tafel NaCl (a), HCl (b)

Tabel 1. Data yang didapat pada pengujian polarisasi dalam larutan NaCl dengan penambahan variasi inhibitor ekstrak kulit buah naga merah.

Konsentrasi Inhibitor (ppm)	E_{corr} (mV)	I_{corr} (A/cm ²)	Laju korosi (mpy)	Efisiensi Inhibisi(%)	Coverage area (%)
0 ppm	-563	124,36	111,46	0	0
5 ppm	-664,86	55,62	50,51	54,68	0,5468
10 ppm	-675,4	50,86	45,58	59,1	0,591
15 ppm	-684,06	38,18	34,21	69,3	0,693
20 ppm	-550,6	13,55	12,14	89,1	0,891

konsentrasi ekstrak kulit buah naga berpengaruh terhadap peningkatan efisiensi inhibisi. Perhitungan persentase efisiensi inhibisi (EI) memperlihatkan nilai efisiensi tertinggi terdapat pada konsentrasi inhibitor dengan 20 ppm menghasilkan 56,54% efisiensi inhibisi.

Tabel 2. Data yang didapat pada pengujian polarisasi dalam larutan HCl dengan penambahan variasi inhibitor ekstrak kulit buah naga merah.

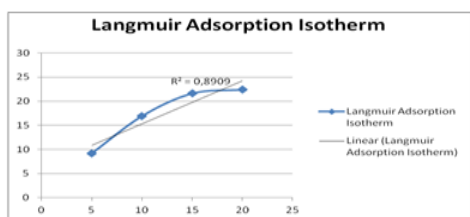
Konsentrasi Inhibitor (ppm)	E _{corr} (mV)	I _{corr} (A/cm ²)	Laju korosi (mpy)	Efisiensi Inhibisi(%)	Coverage area (θ)
0 ppm	-563	124,36	111,46	0	0
5 ppm	-664,86	55,62	50,51	54,68	0,5468
10 ppm	-675,4	50,86	45,58	59,1	0,591
15 ppm	-684,06	38,18	34,21	69,3	0,693
20 ppm	-550,6	13,55	12,14	89,1	0,891

Pada tabel 2 menunjukkan bahwa nilai efisiensi inhibisi tertinggi terdapat pada konsentrasi inhibitor dengan 20 ppm menghasilkan 89,1% efisiensi inhibisi. Pada pengujian polarisasi tafel dapat kita menilai bahwa pengaruh variasi konsentrasi inhibitor pada medium korosi larutan HCl memiliki efisiensi inhibisi yang lebih efektif daripada variasi konsentrasi inhibitor yang terdapat pada medium korosi NaCl. Disisi lain, pada medium korosi larutan HCl, senyawa alami mengikuti kaidah *Langmuir Isoterm Adsorption* dengan persamaan :

$$\frac{C_{inh}}{\theta} = \frac{1}{K_{ads}} + C_{inh} \tag{3}$$

Dimana C_{inh} merupakan variasi penambahan konsentrasi inhibitor, K_{ads} adalah konstanta, dan θ adalah *surface coverage*.

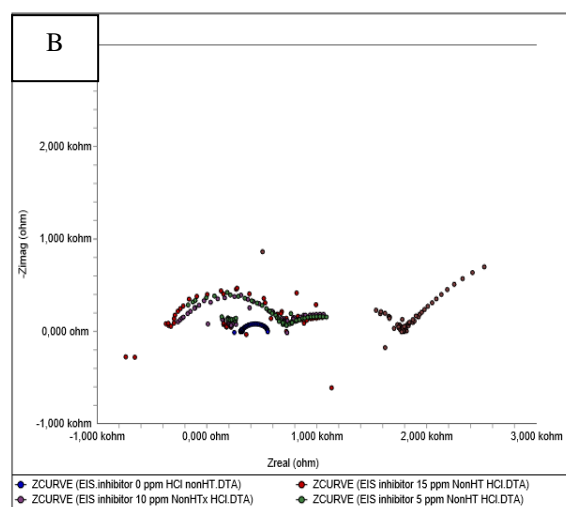
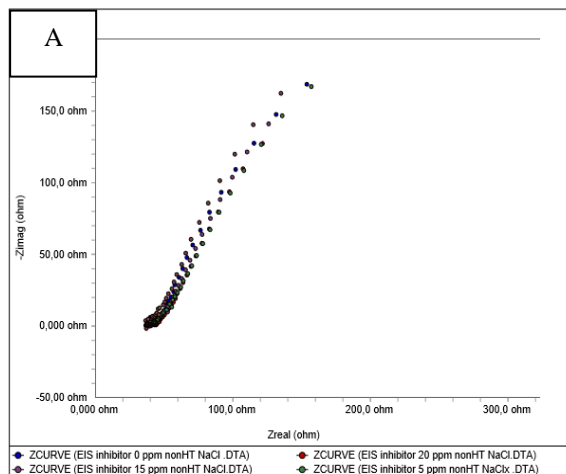
Pada gambar 6 menunjukkan kurva *langmuir isoterm adsorption* inhibitor ekstrak kulit buah naga merah dalam medium korosi larutan HCl. Pada R² mendekati nilai 1 mengidentifikasi bahwa permukaan baja mengikuti kaidah *langmuir isoterm adsorption*[5].



Gambar 6. Kurva *langmuir isoterm adsorption*

3.3 Pengujian EIS

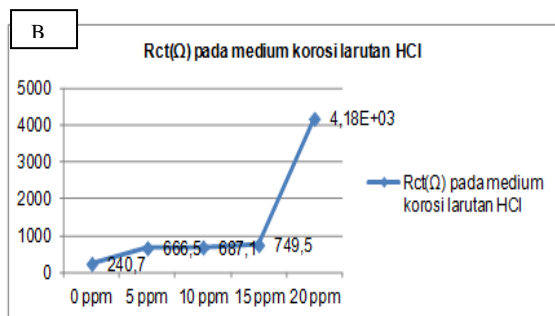
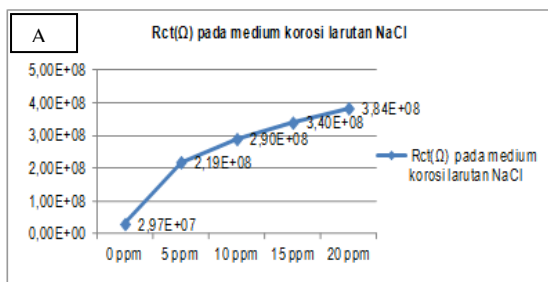
Pada pengujian EIS terdapat perilaku proses elektrokimia pada permukaan spesimen uji tanpa dan dengan penambahan variasi inhibitor korosi pada medium korosi larutan NaCl (a) dan HCl (b). Pada gambar 7 menunjukkan kurva niquist pada Baja API 5L Grade B. Dimana, pada kurva niquist menghasilkan tahanan larutan (R_u) dan tahanan interface layer (R_{ct}).



Gambar 7. Kurva niquist pada medium korosi NaCl(a) dan HCl (b) dengan variasi penambahan inhibitor

Pada gambar 7 menunjukkan adanya perbedaan bentuk pada setiap penambahan variasi konsentrasi inhibitor. Perbedaan bentuk menunjukkan peningkatan impedansi yang disebabkan karena adanya mekanisme adsorpsi pada inhibitor dengan permukaan benda uji [6]. Kurva semi lingkaran mengidentifikasi bahwa adanya keberadaan proses transfer muatan yang terjadi selama kelarutan Baja API 5L Grade B, dimana proses kelarutannya dihambat oleh molekul inhibitor.

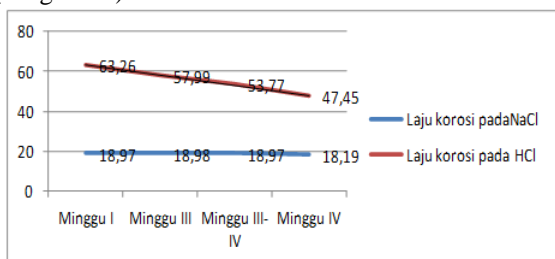
Pada gambar 8 menunjukkan bahwa peningkatan variasi konsentrasi inhibitor kulit buah naga merah berpengaruh terhadap tahanan interface layer (R_{ct}) dimana tingkat impedansi yang lebih efektif terdapat pada penambahan variasi konsentrasi inhibitor pada 20 ppm.



Gambar 8. Grafik perbandingan Rct pada NaCl(a) dan pada HCl (b)

3.4 Pengujian kehilangan berat

Penentuan laju korosi pada metode kehilangan berat didapatkan setelah periode eksposur. Periode waktu eksposur dilakukan selama 4 minggu. Pada gambar 10 terdapat hasil laju korosi yang diperoleh pada pengujian kehilangan berat (weightloss).

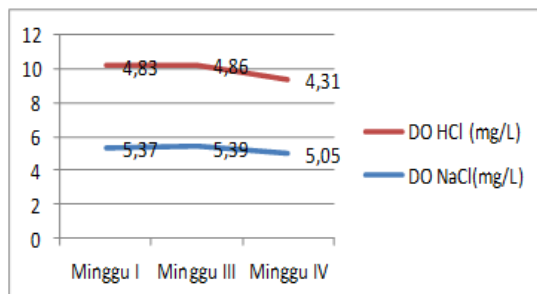


Gambar 9. Laju korosi pada NaCl dan HCl

Hasil pengurangan berat yang terdapat pada medium korosi larutan NaCl secara umum dapat dikatakan sama sedangkan hasil pengurangan berat yang terdapat pada medium korosi larutan HCl berbeda. Perbedaan laju korosi pada medium korosi larutan HCl terdapat pada hasil yang didapat dari waktu eksposur minggu pertama hingga minggu ke-empat. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan parameter air setiap minggunya yang terdapat pada medium korosi larutan HCl.

3.5 Pengujian kadar air terhadap laju korosi

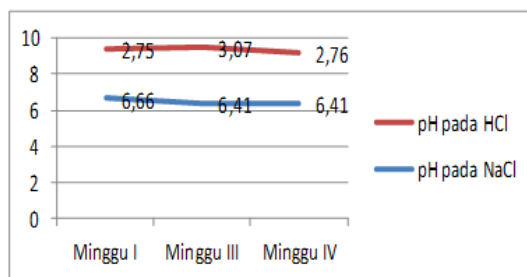
Laju korosi bergantung pada kadar air yang terdapat pada pengujian kehilangan berat. kadar air meliputi Dissolved Oxygen (DO), pH, total padatan terlarut (TDS), salinitas [7]. Pengukuran oksigen pada larutan ditunjukkan pada gambar 10.



Gambar 10. Hasil pengukuran DO

Hasil pengukuran DO pada medium korosi NaCl stabil, sedangkan hasil pengukuran DO pada medium korosi HCl mengalami penurunan dikarenakan adanya pembentukan korosi sehingga konsumsi oksigen menurun dan mengakibatkan peningkatan laju korosi yang dapat dibandingkan pada Minggu III-IV dan Minggu IV pada gambar 10.

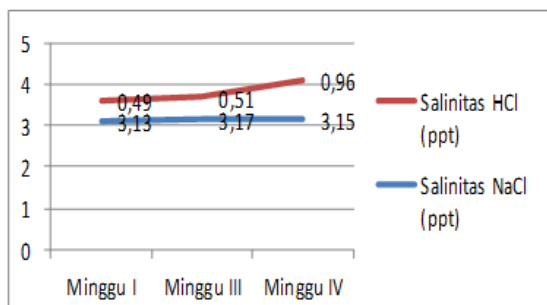
Pengaruh pH sangat berpengaruh terhadap laju korosi. Umumnya laju korosi menurun pada air pH yang lebih tinggi. Kestabilan pH sangat dibutuhkan agar mengetahui konsistensi hasil laju korosi terhadap waktu ekspos.



Gambar 11. Hasil pengukuran pH

Hasil pengukuran pH terhadap waktu yang terdapat pada medium korosi NaCl dapat dilihat pada gambar 11 dimana, pH air relatif konstan dan pengukuran pH pada medium korosi HCl tidak mengalami penurunan yang signifikan. pH air pada medium korosi larutan NaCl menghasilkan laju korosi yang lebih rendah dibandingkan pada medium korosi larutan HCl.

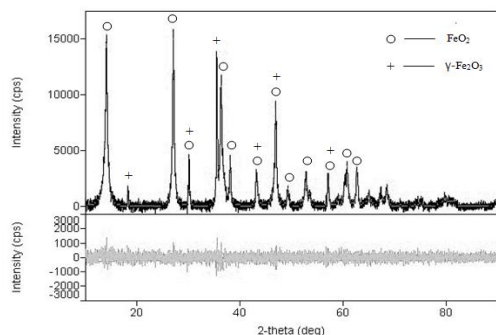
Hasil pengukuran salinitas dapat dilihat pada gambar 13. Pada medium korosi larutan NaCl salinitas yang dihasilkan relatif sama yaitu 3,13 ppt. Tingkat korosifitas air akan meningkat jika kadar garam terlarut dalam air melebihi 3% maka korosifitas air akan menurun[8]. Hasil pengukuran salinitas pada medium korosi larutan HCl yang dihasilkan mengalami kenaikan. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa semakin meningkat kadar garam terlarut dalam air maka semakin rendah kelarutan oksigen [9].



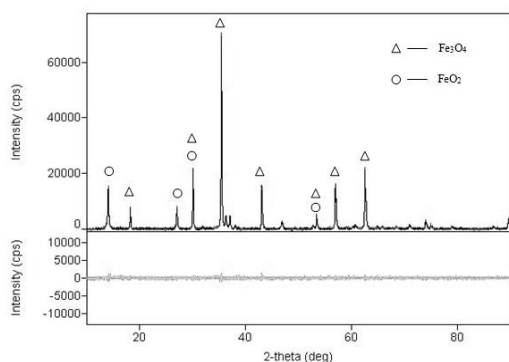
Gambar 12. Hasil pengukuran salinitas

3.6 Pengujian Xray-Diffraction (XRD)

Pada gambar 13 menunjukkan bahwa pada spesimen uji didominasi oleh komposisi senyawa FeO_2 (*Lepidocrocite*) dan $\gamma-Fe_2O_3$ (*Maghemite*) [10]. *Peak intensity* pada medium NaCl terdapat pada $2-\theta$ (14.140, 27.070, 35.4641, 36.288, 46.902). Pada fase *lepidocrocite* umumnya produk korosi berwarna merah-kecoklatan.



Gambar 13. Grafik XRD pada produk hasil korosi NaCl



Gambar 14. Grafik XRD pada produk hasil korosi HCl

Pada gambar 14 *peak intensity* lebih tinggi dibandingkan pada medium korosi NaCl hal itu disebabkan karena adanya interaksi ion Fe dan Cl⁻. Pada gambar 14 fase terdapat pada produk korosi spesimen uji didominasi oleh fase Fe_3O_4 (*Magnetite*) dan FeO_2 (*Lepidocrocite*). Produk korosi yang membentuk fase *magnetite* umumnya berwarna hitam[11]. *Peak intensity* terdapat pada $2-\theta$ (35.4212).

4. Kesimpulan dan saran

Pengujian FTIR pada ekstrak kulit buah naga berpotensi menjadi inhibitor karena gugus-gugus fungsi yang terdapat pada kulit buah naga dapat dikategorikan sebagai gugus-gugus fungsi pada inhibitor alami. Pada pengujian polarisasi pengaruh konsentrasi inhibitor berpengaruh terhadap penurunan laju korosi. Dimana, efisiensi inhibitor yang paling tinggi terdapat pada kadar inhibitor 20 ppm yang mendapatkan nilai laju korosi sebesar 9,495 mpy dengan nilai efisiensi sebesar 56,54% pada medium korosi larutan NaCl dan 12,14 mpy dengan nilai efisiensi sebesar 89,1% pada medium korosi larutan HCl dan pada pengujian EIS menghasilkan hambatan senilai $3,84 \times 10^8 \Omega$ pada medium korosi larutan NaCl dan $4,18 \times 10^3 \Omega$ pada medium larutan HCl. Mekanisme penghambatan pada ekstrak kulit buah naga dengan cara adsorpsi (melapisi) permukaan material Baja API 5L Grade B yang diperoleh sesuai dengan kaidah *Langmuir adsorption isotherm*. Dimana inhibitor ekstrak kulit buah naga akan berkerja secara optimal dan efektif pada medium korosi larutan HCl karena tingkat efisiensi pada medium korosi larutan HCl lebih baik dibandingkan tingkat efisiensi pada medium korosi larutan NaCl. Pada pengujian weightloss pengaruh medium korosi dapat dilihat pada nilai laju korosi yang didapat pada pengujian weightloss. Pada NaCl nilai laju korosi yang didapat senilai 18,97 mpy dan pada HCl nilai laju korosi yang didapat senilai 63,26 mpy. pH pada medium korosi sangat berpengaruh pada tingkat laju korosi spesimen uji. Pada pengujian XRD terdapat perbandingan intensitas pada medium korosi larutan NaCl dengan *peak* intensitas senilai 11.592 cps dan pada medium korosi larutan HCl didapatkan *peak* intensitas senilai 61.421 cps. Pada produk korosi dalam medium korosi larutan NaCl fase yang terbentuk didominasi oleh komposisi senyawa FeO_2 (*Lepidocrocite*) dan $\gamma-Fe_2O_3$ (*Maghemite*) sedangkan pada produk korosi dalam medium korosi larutan HCl didominasi oleh fase Fe_3O_4 (*Magnetite*) dan FeO_2 (*Lepidocrocite*).

Daftar Pustaka

- [1] R. Supardi, 1997, *Korosi*. Penerbit Tarsito, Bandung.
- [2] Roberge.Pierre.M,1999, *Handbook of Corrosion Engineering*, Mc Graw-hill book company,New York.
- [3] Azeredo. H.M.C, 2009, *Betalain: Properties, Sources, Applications, and Stability – a Review*, Int. J. Food Sci. Technol. 44: 2365-2376.
- [4] Mitasari.A, 2012, *Uji Aktivitas Ekstrak Kloroform Kulit buah Naga Merah (Hylocereus polyrhizus Britton & Rose)*

Menggunakan Metode DPPH (1,1-Defenil-2- Pikril Hidrazil), Skripsi. Program Studi Farmasi, Universitas Tanjungpura, Pontianak.

- [5] Priyotomo. G, 2016, *Studi awal potensi daun belimbing wuluh sebagai inhibitor korosi pada baja karbon dii larutan asam klorida*, Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2016, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah, Jakarta.
- [6] Osman. M.M, Omar. A.M, Al-Sabagh.A.M, 1997, *Corrosion inhibition of benzyl triethanol ammonium chloride and its ethoxylate on steel in sulphuric acid solution*. Mater Chem Phys 50(3):271–274.
- [7] P.B. Bennett, 1992, *Control of Environmental Variables in Water Resirculating System. Metal Handbook Ninth Edition*, New York, USA: Calgon Corporation.pp.487- 497.
- [8] L. Ziqiang, C. Jiuju, S. Wenqiang, and L. Wang, 2018, *Analysis and Optimization of Open Circulating Cooling Water System*, Water, Vol 10.
- [9] N. Qingwei, L. Zili, C. Gan, and W. Bingying, 2017, *Effect of Flow Rate on The Corrosion Behavior of N80 Steel in Simulated Oil Field Environment Containing CO2 and HAc*, Int. J. Electrochem. Sci., Vol. 12, pp. 10279 – 10290.
- [10] Ewing.F, 1935 *The Crystal Structure of Lepidocrocite*. Journal of Chemical Physics 3, 420-424.
- [11] O'Neill.H.ST.C, Dolase. W.A, 1994, *Crystal structures and cation distribution in simple spinels from powder XRDstructrucal refinements*, Physics and Chemistry of Minerals, 541-555.



Abraham Santo Christian Simanjuntak menyelesaikan studi S1 di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana pada tahun 2020. Konsentrasi Penelitian yang diminati adalah green inhibitor dengan berbagai pengaplikasiannya.

Karakteristik Mekanik (Kekuatan Bending, Tarik, *Impact*) Komposit Serat Kulit Jagung Dengan Matrik Resin SHCP *Polyester BQTN 268*

Rizky Fajar, C.I.P.K Kencanawati, Made Widiyarta

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Pada saat ini, kemajuan teknologi sangat pesat, dimana teknologi modern memerlukan bahan dengan kombinasi dari beberapa sifat material dasar. Hal ini menyebabkan peran komposit di era sekarang ini sangat vital dan sering dipakai. Akan tetapi, untuk saat ini produk komposit masih cenderung berasal dari material sintesis yang sangat sulit terurai. Di era penerapan teknologi ramah lingkungan seperti saat ini, hal tersebut menimbulkan masalah yang cukup serius bagi lingkungan, sehingga penggunaan material sintesis saat ini sudah mulai dikurangi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa bagaimana pengaruh fraksi berat dengan variasi 5%, 10% dan 15% kekuatan mekanik terhadap uji bending, Tarik dan impact pada komposit serat kulit jagung dengan resin SHCP Polyester BQTN 268 dengan campuran katalis MEKPO (Methyl Ethyl Ketone Peroxide). Hasil Perhitungan menunjukkan hasil pegujian bending modulus elastisitas tertinggi berada di 5% serat dan 95% resin dengan angka rata-rata sebesar 1,248 GPa dan terendah di 15% serat dan 85% resin dengan rata-rata 0,674 GPa. Perhitungan uji Tarik menunjukkan hasil modulus paling optimal berada di kandungan serat sebanyak 15% dengan 85% resin dengan nilai rata-rata 0,55 GPa sedangkan hasil terendah berada di kandungan 5% serat dengan 95% resin dengan nilai 0,49 GPa. Pengujian kekuatan uji impact terbesar berada di kandungan 15% serat dan 85% resin dengan nilai rata-rata 0,0372 Nm/mm² dan terendah rata-rata sebesar 0,0224 Nm/mm² pada kandungan 5% serat dan 95% resin.

Kata kunci : komposit, resin polyester, serat kulit jagung

Abstract

At this time, technological advances are very growing fast, where modern technology requires materials with a combination of several basic material properties. This causes the role of composites in today's era is very vital and is often used. However, for now composite products still tend to come from synthetic materials which are very difficult to decompose. In the era of the application of environmentally friendly technology: as it is today, this creates serious problems for the environment, so that the use of synthetic materials is now starting to be reduced. This study purpose to analyze how the result of weight fraction with a variation of 5% , 10% and 15% of mechanical strength on bending, tensile and impact tests on the SHCP Polyester BQTN 268 corn skin fiber composite with a mixture of MEKPO (Methyl Ethyl Ketone Peroxide). The calculation results show the results of the bending test of the highest elastic modulus at 5% fiber and 95% resin with an average number of 1,248 GPa and the lowest at 15% fiber and 85% resin with an average of 0,674 GPa. The calculation of the tensile test shows that the most optimal modulus results are in the fibre content of 15% with 85% resin with an average value of 0.55 GPa while the lowest result is in the content of 5% fiber with 95% resin with a value of 0.49 GPa. The largest Impact test strength test is in the content of 15% fiber and 85% resin with an average value of 0.0372 Nm/mm² and the lowest average of 0.0224 Nm/mm² at a content of 5% fiber and 95% resin.

Keywords : composite, polyester resin, corn skin fiber

1. Pendahuluan

Sejak zaman dahulu, proses penggabungan lebih dari satu bahan untuk menghasilkan suatu bahan dengan karakter yang lebih baik, telah dilakukan oleh manusia. Contohnya adalah penggunaan jerami pada batu bata dan pedang samurai yang terdiri dari lapisan oksida besi yang berat dan liat. Hasil dari proses penggabungan material tersebut dinamakan komposit, dimana struktur bahan materialnya masih dapat terlihat secara makroskopis. Komposit yaitu suatu jenis bahan terbaharukan hasil rekayasa dimana sifat dari bahan yang berbeda satu sama lainnya baik sifat kimia ataupun fisiknya dan terus terpisah dalam hasil akhir bahan tersebut serta dapat dilihat secara makroskopis [1]. Jagung berperan sebagai salah satu makanan pokok yang digemari di Indonesia sehingga memungkinkan memproduksi limbah alami dalam jumlah yang besar. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik, produksi kebutuhan jagung selalu meningkat disetiap tahunnya.. Kondisi ini mengindikaasikan bahwa peningkatan konsumsi terhadap jagung semakin meningkat dengan limbah alami yang bertambah banyak pula. Kulit jagung merupakan salah satu bagian dari jagung yang belum dimanfaatkan limbahnya dengan maksimal. Kondisi ini mengindikaasikan bahwa peningkatan konsumsi terhadap jagung semakin meningkat dengan limbah alami yang bertambah banyak pula. Diketahui bahwa dari 100% bagian pada tanaman jagung, 95% diantaranya adalah limbah alami yang tidak dikonsumsi, meliputi : batang, daun, kulit dan tongkol jagung [2]. Biasanya kulit jagung hanya dialihfungsikan sebagai pakan ternak dan bahan dasar kerajinan tangan. Padahal dari sifat mekanik dan fisiknya, kulit jagung dapat dialihfungsikan menjadi produk yang jauh lebih bernilai dari produk tersebut. Untuk saat ini matrik yang sering digunakan adalah polimer, seperti resin *polyester*. Pada dasarnya polyester tahan terhadap asam kecuali asam pengoksida, tetapi lemah terhadap alkali. Bila dilarutkan ke dalam air yang mendidih dalam waktu yang cukup lama (300 jam) maka bahan akan pecah serta retak. Tahan terhadap kelembaban dan sinar UV jika dibiarkan di runag terbuka, tetapi sifatnya yang tembus cahaya rusak dalam kurung waktu beberapa tahun. Bahan ini dapat digunakan secara luas sebagai bahan komposit [3]. Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan diatas, didapat rumusan masalah sebagai seperti berikut:

1. Bagaimana pengaruh fraksi berat terhadap sifat mekanis bending serat kulit jagung resin SHCP *Polyester* BQTN 268 dengan campuran

katalis MEKPO (*Methyl Ethyl Ketone Peroxide*),

2. Bagaimanapengaruh fraksi berat terhadap sifat mekanis tarik serat kulit jagung resin SHCP *Polyester* BQTN 268 dengan campuran katalis MEKPO (*Methyl Ethyl Ketone Peroxide*)
3. Bagaimana pengaruh fraksi berat terhadap sifat mekanis *impact* serat kulit jagung dengan resin SHCP *Polyester* BQTN 268 dengan campuran katalis MEKPO(*Methyl Ethyl Ketone Peroxide*).

2. Dasar Teori

2.1 Komposit

Secara umum material pembentuk komposit adalah Penguat (Serat) dan pengikat (matrik). Dimana umumnya material Serat memiliki kekuatan yang lebih besar dari matrik sehingga berperan sebagai rangka yang akan saling diikat oleh matrik [4].

2.2 Resin Polyester

Resin polyester ialah resin yang banyak diterapkan dalam pengaplikasi yang menggunakan resin termoset, secara terpisah ataupun dalam wujud material komposit. Jenis resin polyester yang diaplikasikan pada matriks komposit merupakan jenis yang tidak jenuh (*unsaturated polyester*) yang merupakan termoset yang bisa mengalami pengerasan (*curing*) dari fasa cair ke fasa padat ketika mendapat perlakuan tepat. Berbeda dengan tipe polyester jenuh (*saturated polyester*) seperti Terylene, yang tidak dapat mengalami *curing* [5].

2.2 Serat

Kulit jagung dapat dimanfaatkan menjadi suatu produk agar dapat menambah harga dari limbah kulit jagung tersebut. Kulit jagung memiliki kekuatan tinggi pada arah serat memanjang, tahan gesekan, memiliki daya serap air yang relatif rendah, dan tidak mudah terkontaminasi bakteri. pada penampang membujur memiliki keteguhan tarik sebesar 10,8 Mpa, Modulus elastis sebesar 387,4 Mpa, keteguhan belah 5,03 % dan pada penampang melintang memiliki keteguhan tarik sebesar 4,32 Mpa, Modulus elastis sebesar 169,3 Mpa serta keteguhan belah 3,7% [6].

2.3 Uji Bending

Uji bending atau uji lengkung merupakan bentuk pengujian untuk menunjukkan suatu karakter material secara visual. Kekuatan bending yaitu tegangan bending terbesar yang dapat diterima disebabkan pembebanan luar tanpa mengalami deformasi yang besar atau kegagalan.

Rumus tegangan bending adalah sebagai berikut :

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

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

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

Dimana :

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

Modulus elastisitas (E_L) adalah nilai yang mempresentasikan ketahanan material uji terhadap deformasi elastis.

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

Dimana :

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

2.4 Uji Tarik

Uji tarik ialah pengujian untuk mengetahui sifat pada suatu bahan. Dengan menarik suatu bahan akan mengetahui sebesar apa bahan dapat bereaksi pada tenaga tarikan dan mengetahui sejauh mana material bertambah panjang. Untuk rumus yang digunakan ditunjukkan pada persamaan:

$$\sigma_{maks} = \frac{F}{A_0} \quad (4)$$

Dimana:

σ_{maks} = Tegangan maksimum (MPa)
 F = Gaya (N)
 A_0 = Luas permukaan (mm^2)

Regangan adalah perbandingan antara pertambahan panjang (ΔL) material uji atau spesimen dibagi dengan panjang awal (L_0) spesimen, seperti yang ditunjukkan:

$$\epsilon_{maks} = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (5)$$

Dimana:

ϵ_{maks} = Regangan maksimum (%)
 ΔL = Pertambahan panjang (mm)

Modulus elastisitas (E) adalah kekuatan suatu bahan atau ketahanan material uji terhadap deformasi elastis. Untuk rumus yang digunakan ditunjukkan pada persamaan:

$$E = \frac{\sigma_{elastis}}{\epsilon_{elastis}} \quad (6)$$

Dimana:

E = Modulus elastisitas (MPa)
 $\sigma_{elastis}$ = Tegangan Elastis (MPa)
 $\epsilon_{elastis}$ = Regangan Elastis (%)

2.5 Uji Impact

Uji *impact* yaitu metode yang digunakan untuk mengetahui kekuatan, kekerasan, dan keuletan pada material. Dengan mengabaikan kehilangan-kehilangan energi yang diakibatkan gesekan bantalan pada titik putar batang pendulum dilakukan perhitungan-perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Energi awal, } E_0 &= W h \\ &= W \cdot l (1 - \cos \alpha) \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \text{Energi Akhir, } E_1 &= W h_1 \\ &= W \cdot l (1 - \cos \beta) \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \text{Energi yang diserap} \\ E &= E_0 - E_1 = W(h - h_1) \\ &= W \cdot l (\cos \beta - \cos \alpha) \end{aligned} \quad (9)$$

Dimana :

W = Berat dari pendulum (N)
 α = Sudut Awal
 g = Gravitasi (m/s^2)
 h_1 = Tinggi Awal (m)
 h_2 = Tinggi Akhir (m)
 β = Sudut Akhir

Sedangkan harga kekuatan impact dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$I_s = \frac{\Delta E}{t \times l} \quad (10)$$

Dimana:

I_s = kekuatan impact (J/m^2)
 t = tebal spesimen (m)
 l = lebar spesimen (m)

3. Metode Penelitian

Terdapat tiga pengujian yang akan dilakukan, pengujian pertama yang dilakukan adalah uji bending digunakan untuk mengukur kekuatan material akibat pembebanan, merupakan salah satu bentuk pengujian untuk menentukan suatu mutu material secara visual. Pengujian kedua yang dilakukan adalah uji tarik, pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sifat sifat suatu bahan. Uji tarik dilakukan dengan cara menarik suatu bahan, agar dapat mengetahui sejauh mana bahan tersebut bereaksi pada tenaga tarikan dan mengetahui seberapa panjang material dapat bertambah panjang. Pengujian ketiga yaitu uji *impact* dilakukan untuk mengetahui kekuatan, kekerasan, dan keuletan dari material. Oleh karena itu uji impact banyak digunakan dalam bidang menguji sifat mekanik yang dimiliki oleh suatu material tersebut.

Pembuatan papan dicetak menggunakan cetakan berbentuk persegi panjang Papan partikel dibuat dengan memvariasikan fraksi berat dari papan partikel.

Berikut langkah-langkah proses pencetakan komposit:

1. Ukur serat kulit jagung dan resin SHCP BQTN 268 dengan perbandingan katalis 99:1 lalu sesuaikan dengan fraksi berat yang diinginkan.

2. Campurkan serat kulit jagung dengan resin sesuai dengan fraksi berat yang diinginkan.
3. Ulangi langkah dari awal untuk variasi spesimen uji.
4. Setelah setelah menunggu selama 3 jam barulah spesimen dapat dikeluarkan dari cetakan secara perlahan.
5. Spesimen komposit dapat diuji.



Gambar 1. Pengukuran Resin Polyester



Gambar 2 Pengukuran Serat Kulit Jagung



Gambar 3. Cetakan Yang Telah Dilapisi Aluminium

4. Hasil dan Pembahasan

Pengujian kekuatan bending, Tarik dan impact pada serat kulit jagung dengan resin SHCP polyester BQTN 268 telah dilakukan di Lab. Metalurgi Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana.

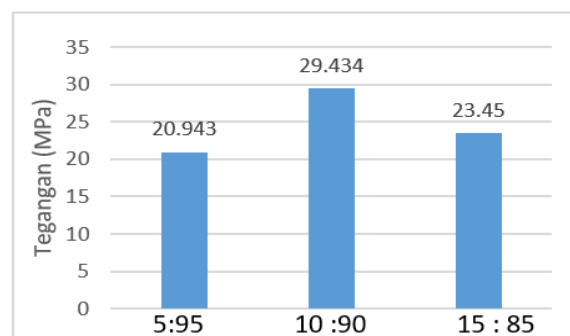
4.1 Pembahasan Hasil Uji Bending

Variasi fraksi berat yang digunakan, pada campuran serat kulit jagung dengan resin SHCP polyester BQTN 268 Adapun penjelasan dari hasil pengujian bending pada campuran serat kulit jagung dengan resin SHCP polyester BQTN 268 adalah sebagai berikut.

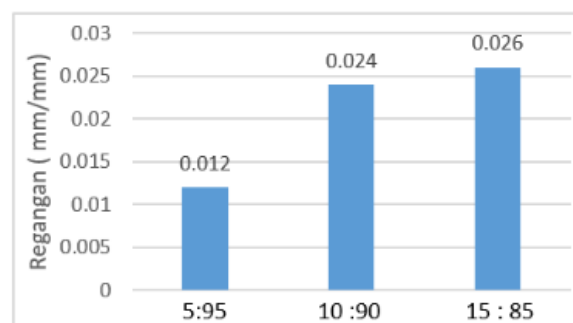
Nilai tegangan dari specimen uji tercatat tegangan bending dengan data variasi fraksi berat

pada specimen serat kulit jagung dengan resin SHCP Polyester BQTN 268 menunjukkan pada fraksi berat dengan nilai serat 5% memiliki tegangan rata-rata sebesar 20,943 MPa. Spesimen dengan kandungan serat 10% memiliki rata-rata tegangan bending paling tinggi yaitu sebesar 29,434 Mpa. kandungan serat sebesar 15% memiliki nilai tegangan rata-rata sebesar 23,450 Mpa.

Variasi fraksi berat antara serat dan resin sebagai penyusun sangat berpengaruh terhadap nilai tegangan *bending*, dimana semakin besar fraksi berat serat maka tegangan *bending* pun akan semakin tinggi pula, dikarenakan jumlah serat yang tinggi dapat menahan beban *bending* yang besar.

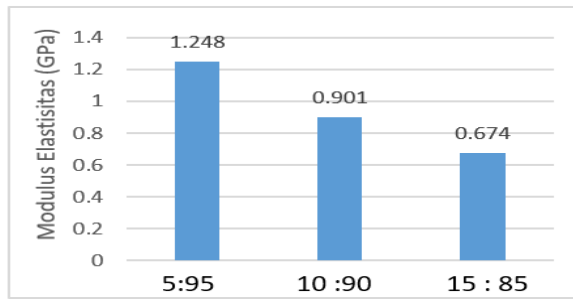


Gambar 4. Diagram Batang Tegangan Bending



Gambar 5. Diagram Batang Regangan Bending

Grafik diatas dapat dilihat hubungan antara variasi fraksi berat pada campuran serat kulit jagung dan resin SHCP polyester BQTN 268 terhadap regangan bending, dimana hasil yang diperoleh pada specimen variasi fraksi berat serat 15% memiliki nilai regangan rata-rata yang paling tinggi yaitu sebesar 0,026. Spesimen dengan variasi berat serat 10% memiliki regangan rata-rata sebesar 0,024. Sementara nilai regangan paling rendah pada specimen variasi serat 5% dengan nilai regangan bending sebesar 0,012. Hal ini dapat terjadi akibat jumlah serat yang terlalu banyak dan terlalu sedikit akan memiliki ikatan homogen antar serat dan matriks yang berbeda-beda. Jumlah serat yang terlalu banyak juga mempengaruhi struktur makro maupun mikro dari specimen, dimana kemungkinan adanya *void* pada specimen juga semakin tinggi dan akan mempengaruhi nilai defleksi yang bekerja pada specimen.



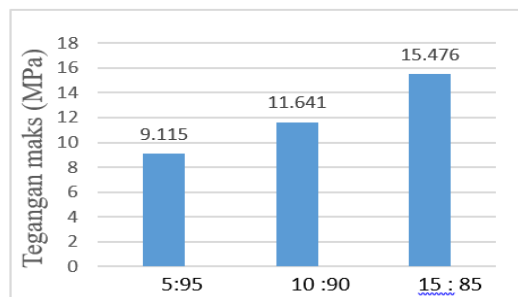
Gambar 6. Diagram Batang Modulus Elastisitas

Pada diagram dapat dilihat hubungan antara variasi fraksi berat pada campuran serat kulit jagung dan resin SHCP polyester BQTN 268 terhadap modulus elastisitas bending, dimana hasil yang diperoleh pada spesimen variasi fraksi berat serat 5% memiliki nilai modulus elastisitas rata-rata yang paling tinggi yaitu 1, 248 GPa. Spesimen dengan variasi berat serat 10% memiliki nilai modulus elastisitas rata-rata sebesar 0,901 GPa. Sedangkan nilai modulus elastisitas paling rendah ditunjukkan pada spesimen dengan variasi serat 15% dengan nilai modulus elastisitas bending rata-rata sebesar 0,674 GPa.

Hasil pengujian menunjukkan besarnya nilai Modulus Elastis berbanding terbalik dengan besarnya regangan (Elongation). Hal ini menunjukkan jika bahan memiliki nilai modulus elastisitas yang kecil maka bahan akan mengalami regangan yang cukup besar pada saat di uji sampai melewati titik daerah elastik. Ini membuktikan bahwa bahan semakin banyak serat yang diberikan maka spesimen tersebut bersifat lentur. Kemungkinannya pada sisi lain keberadaan pori-pori (void) yang berkurang akan mengurangi kemungkinan akibat retakan awal yang berkembang menjadi perpatahan.

4.2 Pembahasan Hasil Pengujian Tarik

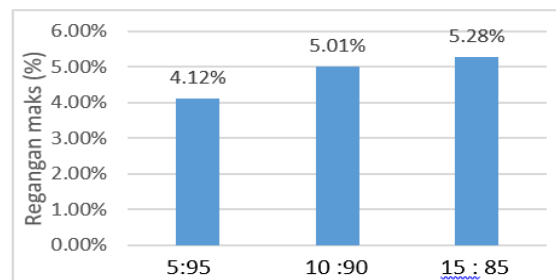
Variasi fraksi berat yang digunakan, pada campuran serat kulit jagung dengan resin SHCP polyester BQTN 268, Adapun penjelasan pada hasil pengujian tarik pada campuran serat kulit jagung dengan resin SHCP polyester BQTN 268 adalah sebagai berikut:



Gambar 7 Grafik Batang Tegangan Maksimum Tarik

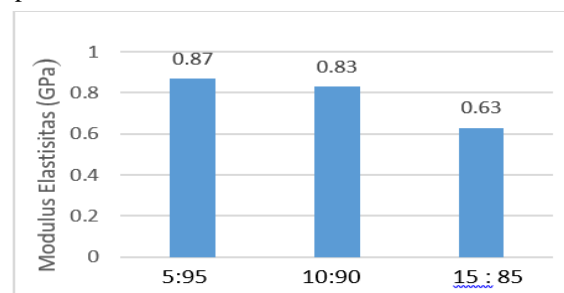
Dari data pengujian tegangan, hasil yang diperoleh pada spesimen dengan variasi berat serat

15% mempunyai nilai tegangan yang paling tinggi yaitu rata-rata sebesar 15,476 MPa. Spesimen dengan variasi serat 10% memiliki nilai rata-rata regangan sebesar 11,641 MPa. Sedangkan nilai regangan yang terendah terbukti pada spesimen dengan variasi berat serat 5% didapat nilai regangan rata-rata bending sebesar 9,511 MPa. Berdasarkan diagram batang di atas dapat dikatakan semakin banyaknya jumlah serat yang ditambah maka tegangan tarik yang dibentuk semakin tinggi. Semakin banyak serat yang digunakan akan lebih kuat untuk menahan beban yang diberikan.



Gambar 8 Diagram Batang Regangan Maksimum

Grafik menunjukkan nilai Regangan yang terendah terdapat di kandungan 5% serat dengan nilai rata-rata regangan sebesar 4,212%. Sedangkan spesimen dengan variasi berat 10% memiliki nilai rata-rata regangan sebesar 5,0116%. Sedangkan nilai regangan yang paling tinggi terdapat di spesimen yang memiliki variasi berat sebesar 15% dengan nilai rata-rata 5,275%. Hal ini disebabkan karena pada spesimen yang memiliki kandungan serat rendah tidak dapat membagi regangan secara maksimal keseluruhan spesimen. Sedangkan spesimen yang diberi serat berlebih dapat menahan beban tarik lebih maksimal dan dapat menambah nilai dari regangan spesimen.



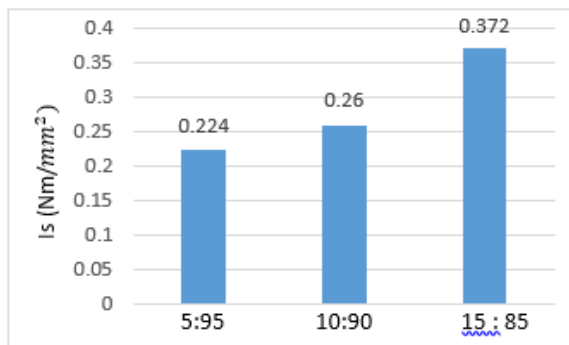
Gambar 9 Diagram batang Modulus Elastisitas

Pada grafik menunjukkan modulus elastisitas dengan variasi serat sebanyak 5% memiliki nilai rata-rata sebesar 0,87 GPa. Spesimen dengan variasi 10% memiliki nilai rata-rata modulus elastisitas sebesar 0,83 GPa. Sedangkan spesimen yang memiliki variasi berat serat sebanyak 15% mempunyai nilai rata-rata modulus elastisitas yang terendah yaitu sebesar 0,63 GPa. Berdasarkan grafik di atas dapat dikatakan bahwa semakin banyaknya jumlah serat maka

tegangan tarik yang dapat dihasilkan semakin tinggi. semakin banyak serat yang digunakan akan lebih kuat untuk menahan beban yang diberikan dikarenakan semakin banyak jumlah serat yang terdistribusi lebih banyak ke bidang serat yang mengakibatkan kekuatan Tarik semakin besar.

Pembahasan Hasil Pengujian Impact

Variasi fraksi berat yang digunakan, pada campuran serat kulit jagung dengan resin polyester SHCP BQTN 268, berpengaruh Energi Serap dan kekuatan impact. Adapun penjelasan dari hasil pengujian:



Gambar 10. Diagram Batang Hasil Uji Impact

Dari pengujian impact serat kulit jagung berpenguat resin polyester SHCP BQTN 268 didapatkan nilai rata-rata pada kandungan 5% serat sebesar 0,224 Nm/mm². Pengujian impact dengan kandungan 10% serat sebesar 0,260 Nm/mm². sedangkan yang terbesar berada pada fraksi berat 15% yaitu sebesar 0,372 Nm/mm². Hasil ini menunjukkan bahwa kekuatan impak maksimal pada variasi fraksi berat diangka 15%. Penambahan jumlah serat menyebabkan peningkatan ketahanan komposit terhadap beban kejut pendulum. Hal ini sesuai dengan teori dasar komposit yaitu serat berfungsi sebagai penguat. Selama matrik mengikat serat dengan maksimal, semakin besar kandungan serat maka semakin besar pula kekuatan dari kompositnya. Ketika serat terputus karena beban kejut, matrik akan meneruskan beban dari ujung serat yang putus ke serat lain yang belum putus.

5.1 Kesimpulan

Dari hasil dari penelitian yang didapat terhadap pengaruh variasi fraksi berat pada serat kulit jagung dengan resin SHCP polyester BQTN 268 terhadap karakteristik kekuatan bending, tarik, dan impact dapat disimpulkan sebagai bahwa :

1. Hasil pengujian bending membuktikan spesimen serat kulit jagung dengan resin SHCP Polyester BQTN 268 variasi fraksi berat memiliki nilai kekuatan bending. Ditunjukkan pada nilai tegangan rata-rata bending terbesar 29,434 MPa , nilai regangan rata-rata bending terbesar 0,026,

dan nilai dari modulus elastisitas rata-rata terbesar 1,248 GPa.

2. Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa spesimen serat kulit jagung dengan resin SHCP Polyester BQTN 268 variasi fraksi berat memiliki nilai kekuatan tarik. Dimana nilai tegangan rata-rata bending terbesar 15,476 MPa , nilai regangan rata-rata bending terbesar 5,275%, dan nilai modulus elastisitas rata-rata terbesar 0,55 GPa.
3. Hasil pengujian impact menunjukkan bahwa spesimen serat kulit jagung dengan resin SHCP Polyester BQTN 268 variasi fraksi berat memiliki nilai kekuatan Impact. Dimana nilai kekuatan Impact rata-rata terbesar 0,372 Nm/mm² dengan kandungan 15% serat kulit jagung.

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian, terdapat saran yang dapat diberikan agar dapat menjadi pedoman pada penelitian berikutnya, yaitu:

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut terhadap pengaplikasian specimen serat kulit jagung dan resin SHCP polyester BQTN 268 terhadap penambahan jumlah variasi persentase agar didapatkan hasil penelitian perbandingan dan nilai kekuatan yang lebih maksimal.

Daftar pustaka

- [1] Gibson, Ronald F., 1994, *Principles of Composite Material Mechanics*, New York : Mc Graw Hill, INC
- [2] Faesal, 2013, *Pengolahan limbah tanaman jagung untuk pakan ternak sapi potong*. Prosiding seminar nasional inovasi teknologi pertanian, Jakarta.
- [3] Surdia, T, Saito, S., 1992, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Cetakan Ke-3, Prandya Paramita, Jakarta.
- [4] Schwartz, M.M., 1984, *Composite Materials Handbook*, New York : Mc Graw Hill, INC
- [5] Pradana, A.W, Sumarji, Dwi D., 2014, *Pengaruh Variasi Panjang Serat dan Variasi Fraksi Volume terhadap Kekuatan Mekanik Material Komposit Polyester dengan Penguat Serat Daun Nanas*. Jurnal: Artikel Ilmiah Hasil Penelitian Mahasiswa, Universitas Jember, Jember.
- [6] Huda, S.N., 2008, *Composites from Chicken Feather and Cornhusk-Preparation and Characterization*. University of Nebraska, Nebraska



Rizky Fajar menyelesaikan studi S1 dan meraih gelar sarjana teknik di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana pada tahun 2020. Konsentrasi penelitian yang digemari adalah karakteristik komposit dengan berbagai manfaat, bentuk dan pengaplikasiannya

Analisa Variasi Massa Pengisian Refrigerant R407C dengan Beban Pendinginan Sebesar 320 Watt terhadap Performansi Mesin Pendingin Ruangan Tipe Split

Taufiq Pandu Dwi Utomo, N. Suarnadwipa dan Ketut Astawa
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Sistem pendingin menggunakan air conditioning (AC) dan refrigrasi semakin diperlukan guna meningkatkan kenyamanan sirkulasi udara pada suatu ruangan perkembangan kebijakan global pada bidang lingkungan mendorong teknologi di bidang refrigerant untuk menggunakan bahan yang ramah lingkungan. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan menganalisa performansi mesin pendingin ruangan tipe split dengan memvariasikan massa pengisian refrigerant R407C yang ditambahkan beban pendinginan. Pengujian diawali dengan mengukur performa mesin pendingin menggunakan refrigerant R22. Kemudian dilakukan pengisian refrigerant menggunakan refrigerant R407C dengan jumlah massa 70% massa optimal (210 gram), 100% massa optimal (300 gram), dan 130% massa optimal (390 gram). Berdasarkan data yang diperoleh refrigerant R407C 300 gram yang digunakan pada pengujian dinyatakan cukup layak untuk menggantikan refrigerant R22 karena refrigerant R407C 300 gram memiliki nilai kinerja COP rata-rata sebesar 4,1 yang mendekati kinerja COP rata-rata refrigerant R22 sebesar 4,4 dan dalam segi konsumsi energi listrik kompresor, refrigerant R407C 300 gram memiliki nilai sebesar 0,53 kWh yang lebih rendah dari refrigerant R22 sebesar 0,54 kWh. Dengan refrigerant R407C memiliki kelebihan ramah lingkungan.

Kata kunci: Massa, Refrigerant, performansi

Abstract

Air conditioning (AC) and refrigeration systems are increasingly needed to improve air comfort in a room the development of global policies in the field of environment encourages refrigerants technologies used to be environmentally friendly materials. Therefore the research aims to analyze the performance of split-type room air conditioners by varying the mass of the R407C refrigerant filling which is added to the cooling load. The test begins with measuring the performance of the engine coolant using R22 refrigerant. Then the mass is filled using R407C refrigerant with 70 % of optimal mass (210 grams), 100 % of optimal mass (300 grams), and 130 % of optimal mass (390 grams). Based on the data obtained the R407C 300 gram refrigerant used in the test is quite acceptable to replace the R22 refrigerant because the R407C 300 gram refrigerant has an average COP performance value about 4.1 which is close to the average COP performance of the R22 refrigerant which is about 4.4 and at the compressor's electrical energy consumption the R407C 300 gram refrigerant has 0.53 kWh which is lower than the R22 refrigerant, which has 0.54 kWh and R407C has the advantage of being environmentally friendly.

Keywords: Mass, Refrigerant, Performance

1. Pendahuluan

Industri berskala besar maupun kecil lebih membutuhkan sistem pendingin *air conditioning* (AC) guna mendapatkan kenyamanan udara yang lebih meningkat pada suatu ruangan. Pada masa sekarang ini untuk mengubah suhu udara pada ruangan menjadi lebih rendah dari suhu udara lingkungan menggunakan metode refrigrasi, sehingga pada suatu ruangan kualitas kenyamanan udara lebih meningkat. Suatu bangunan memiliki kenyamanan udara pada temperatur 22° - 25°C dengan kelembapan *Relative Humidity* 40% - 60% sedangkan Indonesia beriklim tropis yang memiliki temperatur 28° - 35°C [1].

Refrigerant halorkarbon yang memiliki tingkat tingkat mampu nyala yang rendah, serta tingkat racun yang rendah serta kemampuan teknik yang cukup baik, dan biaya yang rendah maka refrigerant halorkarbon sering digunakan pada mesin refrigrasi siklus kompresi uap. Radiasi ultraviolet sampai bumi

menyebabkan tingkatan produktivitas panen berkurang, pertumbuhan menjadi lambat immunisasi seseorang menjadi lemah, meningkatnya kemungkinan mengidap kanker kulit serta katarak mata. Pada September 1987 berdasarkan Protokol Montreal Penggunaan refrigerant yang mengandung zat klorin atau bromin pada tahun 2020 akan dihapuskan karena termasuk zat perusak lapisan ozon atau (*Ozon Depleting Substance*) biasa disingkat ODS sedangkan senyawa halorkarbon halogen atau senyawa CFC mengandung zat perusak lapisan ozon.

Berdasarkan protocol Kyoto tahun 1997, adanya pilihan pengganti refrigerant jenis halocarbon yaitu jenis refrigerant hidrokarbon dimana refrigerant jenis ini mempunyai keunggulan konsumsi energi listrik lebih rendah, karena dibandingkan refrigerant halorkarbon yang massa refrigerantnya lebih banyak dengan massa refrigerant jenis hidrokarbon, kerusakan ozon yang di timbulkan yaitu nol dan karena berbahan gas alam maka pemanasan global

sangat rendah. Jenis refrigerant hidrokarbon dapat melakukan penggantian langsung tanpa harus mengganti kompresor pada mesin refrigerant (drop ini substitute) pada mesin pendingin refrigerasi. Namun dari beberapa kelebihan refrigerant jenis hidrokarbon memiliki sifat flammable jika penggunaan sesuai standar maka refrigerant jenis hidrokarbon aman digunakan.

Dalam hal ini maka ada permasalahan yang akan dikaji, yaitu bagaimana performansi mesin pendingin ruangan tipe split dengan memvariasikan masa pengisian *refrigerant R407C* yang ditambahkan beban pendinginan sebesar 320 watt.

Beberapa batasan ditetapkan dalam penelitian ini meliputi:

1. Temperatur awal ruangan diatur pada temperatur yang sama.
2. Pengaruh lingkungan diasumsikan konstan.
3. Tegangan listrik diasumsikan konstan.
4. Analisa prestasi kerja ataupun performansi mesin pendingin ruangan tipe split dengan *refrigerant R407C*

2. Dasar Teori

AC (*Air Conditioning*) adalah suatu alat yang berperan mengkondisikan udara dengan metode mengendalikan temperature udara dalam ruang tertentu. AC merubah kondisi suhu udara panas ke udara yang bersuhu dingin sehingga ruangan jadi lebih nyaman. Alat ini sanggup menjalankan fungsinya sebagai alat pendingin sebab dalam AC ada banyak komponen, baik mekanis ataupun elektris yang memerlukan sumber energi yang lumayan besar serta tingkat perawatan yang tinggi [2].

Parameter – parameter prestasi mesin refrigerasi kompresi uap menerangkan unjuk kerja dari suatu siklus kompresi uap yang ditinjau ialah dampak refrigerasi, kerja kompresor spesifik, daya kompresor, konsumsi energi listrik kompresor, dan COP (*Coefficient of performance*).

Dampak refrigerasi (ER) yakni besarnya panas yang sanggup diserap oleh *refrigerant* persatuan massa. Besarnya dihitung dengan selisih entalpi *refrigerant* masuk serta keluar evaporator [3]. Dampak refrigerasi ialah jumlah kalor yang diserapoleh *refrigerant* di dalam evaporator untuk tiap satu satuan massa *refrigerant* [4].

$$ER = h_1 - h_4 \text{ kJ/kg} \quad (1)$$

ER = Dampak Refrigerasi (kJ/kg)

h_1 = Entalpi refrigerant saat keluar evaporator (kJ/kg)

h_4 = Entalpi refrigerant saat masuk evaporator (kJ/kg)

Kerja kompresor spesifik yaitu proses kompresi dianggap secara adiabatik yang mempunyai arti tidak terdapat kalor yang dipindahkan baik masuk ataupun keluar sistem.

$$W_k = h_2 - h_1 \quad (2)$$

W_k = Daya Kompresor (kJ/kg)

h_1 = Entalpi refrigerant saat keluar evaporator (kJ/kg)

h_2 = Entalpi refrigerant saat keluar kompresor (kJ/kg)

Daya yang dibutuhkan oleh kompresor untuk melakukan kerja kompresi. Daya kompresor dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$P = I \cdot V \cdot \cos \theta \quad (3)$$

P = Daya Kompresor (watt)

I = Arus Listrik (Ampere)

V = Tegangan Listrik (Volt)

$\cos \theta$ = Faktor Daya (watt)

Konsumsi energi listrik oleh kompresor untuk melakukan kerja kompresi. Konsumsi energi listrik kompresor dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$E_{kon} = P \cdot t \quad (4)$$

E_{kon} = Konsumsi Energi Listrik Kompresor (kWh)

P = Daya Kompresor (watt)

t = Waktu Pendinginan (Menit)

Koefisien prestasi dari sistem refrigerasi yaitu perbandingan antara kalor yang diserap dari ruangan pendingin yang dihasilkan dari efek refrigerasi dengan kerja yang dilakukan kompresor. Koefisien prestasi dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (5)$$

COP = *Coefficient of performance*

h_1 = Entalpi refrigerant saat keluar evaporator (kJ/kg)

h_4 = Entalpi refrigerant saat masuk evaporator (kJ/kg)

h_2 = Entalpi refrigerant saat keluar kompresor (kJ/kg)

3. Metode Penelitian

Persiapan awal yang perlu dilakukan sebelum melakukan penelitian yaitu mengecek keadaan alat dan melakukan kalibrasi pada alat ukur dan bahan yang hendak digunakan untuk pengujian. Tujuan melaksanakan persiapan pengujian ialah untuk memperoleh data yang akurat pada hasil pengujian. Pada pengujian ini dilakukan 2 tahap yaitu tahap pertama menggunakan *refrigerant R22* dan tahap kedua menggunakan *refrigerant R407C*.

Adapun langkah persiapan alat meliputi :

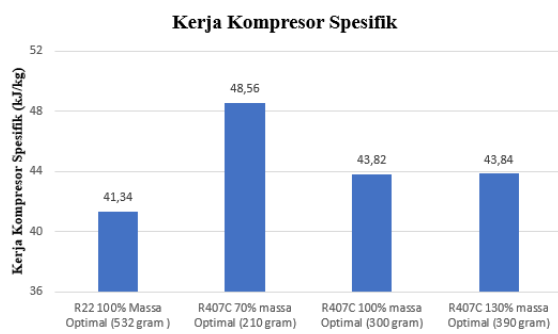
1. Persiapkan peralatan dan perlengkapan yang hendak digunakan dalam pengujian, pasang thermometer di tempat yang sudah ditentukan

2. Hidupkan AC, setelah itu melakukan pemvakuman, pengisian *refrigerant* R22 dengan 100% Massa Optimal yang memiliki nilai ampere kompresor sebesar 3,5A dan tes kebocoran pada alat pengujian
3. Langkah pengujian atau pengambilan data dilakukan sesudah sistem beroperasi 30menit (sampai sistem bekerja normal).
4. Melakukan pengukuran data tekanan serta temperature masuk / keluar *refrigerant* tiap komponen sistem kompresor, kondensor, serta evaporator.
5. Seluruh pengukuran dilakukan pada waktu yang bersamaan. Seluruh data dicatat pada lembaran data.
6. Pengambilan data dilakukan sebanyak 5 kali dengan interval waktu 50 menit untuk satu pengujian massa pengisian *refrigerant*.
7. Ulangi langkah (1–6) untuk variasi massa pengisian *refrigerant* 100% massa optimal pada AC.
8. Ulangi. langkah (1–6) untuk variasi massa pengisian *refrigerant* 130% massa optimal pada AC.
9. Ulangi. langkah (1–) untuk variasi massa pengisian *refrigerant* 70% massa optimal pada AC.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Perbandingan Kerja Kompresor Spesifik

Berikut hasil perbandingan kerja kompresor spesifik mesin refrigerasi yang diuji dengan 2 jenis *refrigerant* yaitu *refrigerant* R22 dan R407C, dimana diberlakukannya variasi massa pada *refrigerant* R407C sebanyak 3 variasi yaitu 70% massa optimal (210 gram), 100% massa optimal (300 gram), 130% massa optimal (310 gram) (Gambar 1).



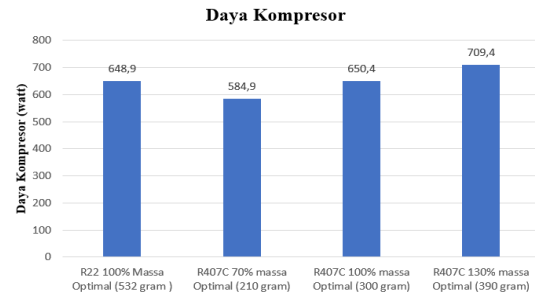
Gambar 1. Perbandingan Kerja Kompresor Spesifik

Gambar 1 menunjukkan kerja kompresor spesifik menggunakan *refrigerant* R407C ($m=210g$, $m=300g$ dan $m= 390g$) lebih tinggi dari mesin pendingin yang menggunakan *refrigerant* R22 karena

kompresor yang digunakan khusus untuk *refrigerant* R22. Pada gambar terlihat bahwa mesin pendingin menggunakan *refrigerant* R407C 210 gram memiliki nilai kerja kompresor spesifik sebesar 48,56 kJ/kg yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan nilai kerja kompresor spesifik *refrigerant* R22. *Refrigerant* massa 300 gram dan 390 gram memiliki nilai kerja kompresor spesifik rata - rata sebesar 43,82 kJ/kg dan 43,84 kJ/kg yang mendekati kerja kompresor spesifik rata - rata yang menggunakan *refrigerant* R22 sebesar 41,34 kJ/kg.

4.2. Perbandingan Daya Kompresor

Berikut hasil perbandingan daya kompresor mesin refrigerasi yang diuji dengan 2 jenis *refrigerant* yaitu *refrigerant* R22 dan R407C, dimana diberlakukannya variasi massa pada *refrigerant* R407C sebanyak 3 variasi yaitu 70% massa optimal (210 gram), 100% massa optimal (300 gram), 130% massa optimal (310 gram) (Gambar 2).

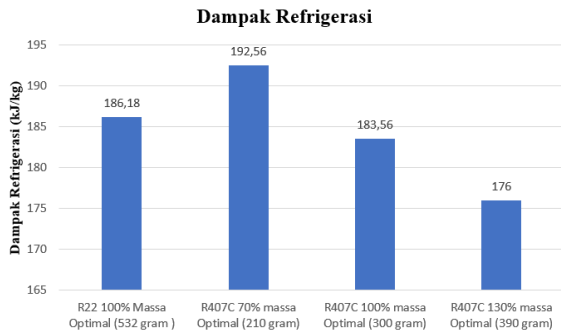


Gambar 2. Perbandingan Daya Kompresor

Gambar 2 menunjukkan bahwa pada pengujian awal yang menggunakan *refrigerant* R22 memiliki nilai daya kompresor rata- rata sebesar 648,9 watt sedangkan *refrigerant* R407C 210 gram memiliki daya kompresor rata- rata di bawah daya kompresor *refrigerant* R22 sebesar 584,9 watt. Sedangkan pada *refrigerant* R407C 300 gram memiliki nilai daya kompresor rata- rata sebesar 650,4 watt yang mendekati nilai dampak refrigerasi rata- rata *refrigerant* R22. Kemudian nilai daya kompresor rata-rata yang dimiliki oleh *refrigerant* R407C 390 gram jauh lebih tinggi dibandingkan nilai kerja kompresor rata- rata *refrigerant* R22 yang sebesar 709,4 watt

4.3. Perbandingan Dampak Refrigerasi

Berikut hasil perbandingan dampak refrigerasi mesin refrigerasi yang diuji dengan 2 jenis *refrigerant* yaitu *refrigerant* R22 dan R407C, dimana diberlakukannya variasi massa pada *refrigerant* R407C sebanyak 3 variasi yaitu 70% massa optimal (210 gram), 100% massa optimal (300 gram), 130% massa optimal (310 gram) (Gambar 3).

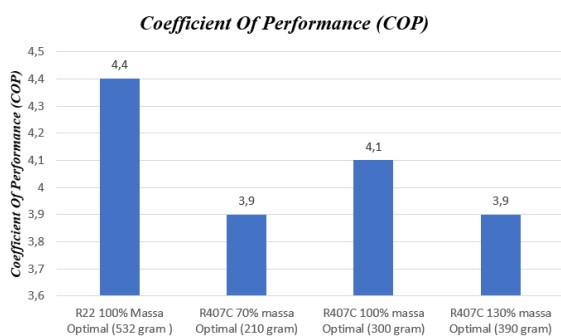


Gambar 3. Perbandingan Dampak Refrigerasi

Gambar 3 menunjukkan bahwa pada pengujian awal yang menggunakan *refrigerant* R22 memiliki nilai dampak refrigerasi rata-rata sebesar 186,18 kJ/kg sedangkan *refrigerant* R407C 210 gram memiliki nilai dampak refrigerasi rata-rata jauh lebih tinggi dari nilai dampak refrigerasi rata-rata *refrigerant* R22 sebesar 192,56 kJ/kg. Sedangkan pada *refrigerant* R407C 300 gram memiliki nilai dampak refrigerasi rata-rata sebesar 183,56 kJ/kg yang mendekati nilai dampak refrigerasi rata-rata *refrigerant* R22. Kemudian nilai dampak refrigerasi rata-rata yang dimiliki oleh *refrigerant* R407C 390 gram jauh lebih rendah dibandingkan nilai dampak refrigerasi rata-rata *refrigerant* R22 yang sebesar 176 kJ/kg.

4.4. Perbandingan Coefficient Of Performance (COP)

Berikut hasil perbandingan *Coefficient Of Performance* (COP) mesin refrigerasi yang diuji dengan 2 jenis *refrigerant* yaitu *refrigerant* R22 dan R407C, dimana diberlakukannya variasi massa pada *refrigerant* R407C sebanyak 3 variasi yaitu 70% massa optimal (210 gram), 100% massa optimal (300 gram), 130% massa optimal (310 gram) (Gambar 4).



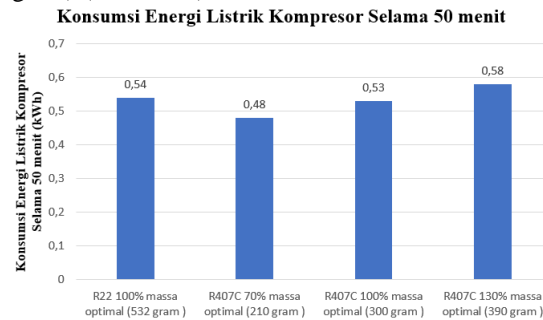
Gambar 4. Perbandingan Coefficient Of Performance (COP)

Gambar 4 menunjukkan bahwa pada pengujian awal yang menggunakan *refrigerant* R22 memiliki nilai kinerja COP rata-rata sebesar 4,4 sedangkan *refrigerant* R407C 210 gram dan R407C 390 gram memiliki nilai kinerja COP rata-rata jauh lebih rendah dari nilai kinerja COP rata-rata *refrigerant* R22 sebesar 3,9. Sedangkan pada *refrigerant* R407C 300 gram memiliki nilai kinerja COP rata-rata

sebesar 4,1 yang mendekati nilai kinerja COP rata-rata *refrigerant* R22.

4.5 Perbandingan Konsumsi Energi Listrik Kompresor Selama 50 Menit

Berikut hasil perbandingan konsumsi energi listrik kompresor selama 50 menit mesin refrigerasi yang diuji dengan 2 jenis *refrigerant* yaitu *refrigerant* R22 dan R407C, dimana diberlakukannya variasi massa pada *refrigerant* R407C sebanyak 3 variasi yaitu 70% massa optimal (210 gram), 100% massa optimal (300 gram), 130% massa optimal (310 gram) (Gambar 5).



Gambar 5. Konsumsi Energi Listrik Kompresor Selama 50 Menit

Gambar 5 menunjukkan bahwa pada pengujian awal yang menggunakan *refrigerant* R22 memiliki nilai konsumsi energi listrik kompresor sebesar 0,54 kWh sedangkan *refrigerant* R407C 210 gram memiliki nilai konsumsi energi listrik kompresor jauh lebih rendah dari nilai konsumsi energi listrik kompresor *refrigerant* R22 sebesar 0,48 kWh. Sedangkan pada *refrigerant* R407C 300 gram memiliki nilai konsumsi energi listrik kompresor sebesar 0,53 kWh yang lebih rendah dari konsumsi energi listrik kompresor *refrigerant* R22. Kemudian nilai konsumsi energi listrik kompresor yang dimiliki oleh *refrigerant* R407C 390 gram jauh lebih tinggi dibandingkan nilai konsumsi energi listrik kompresor *refrigerant* R22 yang sebesar 0,58 kWh.

5. Kesimpulan

Berdasarkan analisa terhadap hasil pengujian alat mesin pendingin menggunakan *refrigerant* R407C dengan variasi massa pengisian *refrigerant* dapat disimpulkan beberapa hal antara lain :

1. *Refrigerant* R407C 300 gram yang digunakan pada pengujian terbukti cukup layak untuk menggantikan *refrigerant* R22 karena *refrigerant* R407C 300 gram memiliki nilai kinerja COP rata-rata sebesar 4,1 yang mendekati kinerja COP rata-rata *refrigerant* R22 sebesar 4,4
2. *Refrigerant* R407C 300 gram memiliki nilai konsumsi energi listrik kompresor sebesar 0,53 kWh yang lebih rendah dari nilai konsumsi energi listrik kompresor *refrigerant* R22 sebesar 0,54 kWh dengan kelebihan ramah lingkungan.

Daftar Pustaka

- [1] ASHRAE, 1989, *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioner Engineers*, United State Of America.
- [2] I. Priyadi, 2009, Jurnal Ilmiah Bidang Sains Volume II, No. 6, **Optimasi Penggunaan AC Sebagai Alat Pendingin Ruangan**, 47-51.
- [3] Jones, Stoecker, 1989, **Refrigerasi dan Pengkondisian Udara**, Erlangga, Jakarta.
- [4] Moran, Shapiro , 2006, *Fundamentals of Engineering Thermodynamics (Fifth Edition)*, Wiley, United State of America.

	<p>Taufiq Pandu Dwi Utomo menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana pada Program Studi Teknik Mesin, pada tahun 2020.</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan perpindahan panas dan termodinamika.</p>	

Inhibitor Alami Ekstrak Kulit Buah Naga Pada Material Baja Api 5l Setelah Perlakuan Panas

Andreas Ronaldo Simanjuntak^{1)*}, I Nyoman Gde Antara¹⁾, I Nyoman Budiarsa¹⁾,
Gadang Priyotomo¹⁾, Ahmad Royani¹⁾, Arini Nikitasari¹⁾, Sundjono¹⁾

1) Program Studi Teknik Mesin, Universitas Udayana Kampus Bukit Jimbaran, Bali 80362

2) Research Center for Metallurgy and Materials-Indonesian Institute of Sciences,
Kawasan PUSPIPTEK, Serpong, Tangerang Selatan 15314, Banten, Indonesia

Abstrak

Pengembangan terhadap inhibitor organik atau inhibitor alami sangat diperlukan, itu dikarenakan harganya yang relatif tidak mahal dan penggunaannya yang ramah lingkungan. inhibitor organik yang digunakan berasal dari limbah kulit buah naga merah. Material yang digunakan pada penelitian ini adalah Baja API 5l Grade B setelah perlakuan panas 800 °C dengan pendinginan secara perlahan-lahan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efisiensi inhibitor pada medium korosif larutan NaCl 3.5 % dan HCl pH 3 dengan variasi penambahan inhibitor 5 ppm, 10 ppm, 15 ppm, dan 20 ppm menggunakan metode tafel serta mengetahui nilai tahanan transfer muatan pada setiap konsentrasi inhibitor menggunakan *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS). Hasil pengujian metode tafel dan EIS menunjukkan bahwa penambahan inhibitor ekstrak kulit buah naga merah dapat menurunkan laju korosi pada medium korosi larutan Sodium Clorida (NaCl) 3.5 % dan asam clorida pH 3 dimana efisiensi tertinggi pada medium korosif larutan NaCl 3.5% sebesar 62.4 % dengan nilai transfer muatan sebesar $2.47 \times 10^6 \Omega$ dan pada medium korosif HCl pH 3 sebesar 87.73% dengan nilai transfer muatan sebesar $1.79 \times 10^3 \Omega$. Pada uji rendam diperoleh produk korosi yang akan dilakukan pengujian XRD untuk mengetahui produk korosinya. Hasil dari pengujian XRD adalah produk korosi dari medium korosif larutan pada medium korosif HCl pH 3 menghasilkan fase magnetite.

Kata Kunci : Inhibitor Organik, Kulit buah naga merah, Korosi, Baja API 5l Grade B, Elektrokimia, Efisiensi Inhibisi.

Abstract

The development of organic inhibitors or natural inhibitors is very necessary, it is due to their relatively inexpensive price and environmentally friendly use. The organic inhibitor used comes from the pitaya peel waste. The material used in this research is API 5l Grade B steel after 800°C Heat Treatment with slow cooling. This research was conducted to determine the efficiency of the inhibitor in the corrosive medium of 3.5 % NaCl and HCl pH 3 solutions with variations in the addition of 5 ppm, 10 ppm, 15 ppm, and 20 ppm inhibitors using the tafel method and to determine the value of charge transfer resistance at each inhibitor concentration using Electrochemical Impedance (EIS). The test results of the tafel and EIS methods show that the addition of pitaya peel extract inhibitor can reduce the corrosion rate of the corrosion medium of NaCl 3.5 % and HCl pH 3 solutions where the highest efficiency in the corrosive medium of 3.5 % NaCl solution is 62.4% with a charge transfer value of $2.47 \times 10^6 \Omega$ and the corrosive medium HCl pH 3 was 87.73% with a charge transfer value of $1.79 \times 10^3 \Omega$. In the immersion test, the corrosion product obtained will be carried out by XRD testing to determine the crystallization phase. The results of the XRD test were the corrosion product of the corrosive medium of HCl pH 3 it produced the magnetite phase.

Key Words : Corrosion, Carbon Steel API 5l Grade B, Red Pitaya, Organic Inhibitor, Electrochemistry, Inhibition efficiency.

1. Pendahuluan

Baja berperan sangat besar dalam dunia industri, dimana penggunaan baja pada saat ini sangat berkembang seperti yang kita lihat dalam sekeliling kita [1]. Material baja juga dapat dikombinasikan dengan unsur karbon untuk mendapatkan sifat mekanik yang dibutuhkan. Hal ini menjadikan baja primadona dibandingkan material yang lain. Namun sayangnya, baja masih memiliki kelemahan yang sampai sekarang menjadi permasalahan yaitu korosi.

Korosi adalah menurunnya kualitas suatu logam karena reaksi elektrokimia terhadap lingkungan sekitarnya. Penurunan mutu terhadap logam tidak hanya melibatkan reaksi kimia namun juga reaksi elektrokimia, yaitu antara bahan-bahan yang bersangkutan dengan terjadinya perpindahan elektron [2]. Korosi merupakan peristiwa kimia

pada logam yang pada dasarnya merupakan reaksi kontak langsung dengan lingkungan berair dan oksigen[3]. Faktor yang mempengaruhi laju korosi, adalah: kandungan gas dan padatan terlarut, air, temperature, seleksi material, pH, bakteri pereduksi atau sulfat reducing bacteria [4].

Ada banyak cara untuk mencegah terjadinya korosi . Penentuan material yang sesuai adalah salah satu hal yang sangat penting untuk diperhatikan. Material yang sesuai tentunya akan berdampak bagus pada banyak hal baik itu ketahanan material, nilai ekonomis, serta life time material itu sendiri. Perlakuan panas merupakan salah satu usaha yang digunakan untuk meningkatkan kualitas material yang diinginkan. Kemudian cara lain untuk mengurangi laju dari

pada korosi dapat dilakukan dengan pemberian zat inhibitor organik pada logam.

Buah naga adalah salah satu jenis buah dengan kandungan polifenol, antioksidan dan serat yang tinggi. Diketahui bahwa antioksidan dari pada ekstrak etanol kulit buah naga (IC50 0,3 mg/mL) lebih tinggi daripada antioksidan pada daging buahnya (IC50 > 1 mg/mL). Aktivitas antioksidan ekstrak kulit buah naga juga sudah diuji dengan beberapa jenis pelarut yang berbeda tingkat kepolarnya [5].

Pada penelitian ini jenis material yang digunakan ialah baja karbon *API 5L Grade B*. Material ini biasa digunakan untuk kebutuhan industri salah satunya sebagai pipa minyak dan gas. Specimen Baja *API 5L Grade B* akan dipanaskan sampai suhu 800°C pada ruang bakar lalu didinginkan secara perlahan sampai suhu ruang untuk meningkatkan keuletan pada material kemudian diuji pada pengujian polarisasi dengan larutan pengkorosi dan menganalisa efisiensi inhibisi pada inhibitor ekstrak kulit buah naga.

2. Metode Penelitian

2.1. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

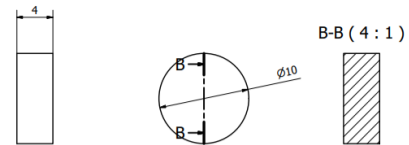
1. Mengetahui kandungan ekstrak kulit buah naga sebagai inhibitor korosi pada baja api 51 grade B Heat Treatment.
2. Mengetahui pengaruh variasi konsentrasi ekstrak kulit buah naga sebagai inhibitor pada baja api 51 grade b Heat Treatment.
3. Mengetahui mekanisme penghambatan ekstrak kulit buah naga sebagai inhibitor organik terhadap laju korosi pada baja api 51 grade B Heat Treatment dengan metode polarisasi dan EIS.
4. Mengetahui pengaruh variasi medium korosi NaCl dan HCl pada baja api 51 grade b Heat Treatment dengan metode weightloss.

2.2. Prosedur Penelitian

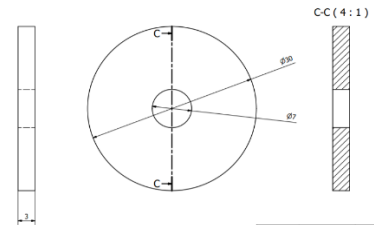
2.2.1 Pembuatan Sampel Baja API 51 Grade B Perlakuan Panas

Dalam pembuatan sampel baja dilakukan beberapa hal sebagai berikut :

1. Preparasi sampel baja API 51 grade B
Terdapat 2 tipe ukuran material yang digunakan, yaitu :
 1. Pada pengujian polarisasi, material yang digunakan berbentuk tabung dimana diameternya adalah 10mm dengan ketebalan 4mm. Pemotongan pipa menggunakan mesin bor duduk dengan mata bor hole saw 10mm.
 2. Pada pengujian weight loss, material yang digunakan berbentuk tabung tetapi memiliki lubang di tengah-tengahnya dengan diameter luar 30mm dan diameter dalam 7mm, mempunyai ketebalan 3 mm.



Gambar 1. Spesimen Uji Polarisasi



Gambar 2. Spesimen Uji Rendam

Perlakuan panas dilakukan menggunakan tungku dari temperatur ruang sampai temperatur 800°C lalu ditahan selama 15 menit pada suhu tersebut. Kemudian dilakukan pendinginan perlahan-lahan sampai suhu ruang didalam tungku.

2.2.2 Preparasi Sampel Pengujian

Pada penelitian ini menggunakan 2 pengujian yaitu pengujian polarisasi dan pengujian weight loss dengan preparasi sampel yang berbeda. Preparasi sampel pengujian dapat dilihat dibawah ini :

1. Preparasi Sampel Pengujian Polarisasi
Pada pengujian polarisasi ada beberapa tahapan dalam mempersiapkan sampel. Tahapan tersebut antara lain :
 - Penyolderan sampel
Pada tahap ini kawat tembaga disambungkan dengan diameter permukaan material menggunakan timah.
 - Mounting sampel
Pada tahap ini sampel yang sudah disolder di mounting menggunakan resin dan FeCl3 sebagai pengeras. Dan dibutuhkan waktu selama lebih kurang 36 jam sampai hasil mounting benar-kering,
 - Penghalusan permukaan sampel
Pada tahap ini sampel yang sudah dimounting di haluskan dengan mesin grinding menggunakan kertas amplas grid 120,240,400,600,800,1000, dan 1200.
2. Preparasi Sampel Uji Rendam

Pada pengujian polarisasi ada beberapa tahapan dalam mempersiapkan sampel. Tahapan tersebut antara lain :

- Perataan permukaan sampel
Pada proses ini, permukaan spesimen diratakan menggunakan mesin surface grinding yang dimana bertujuan untuk meratakan sekaligus menyamakan ketebalan di setiap spesimen.
- Penghalusan permukaan sampel
Pada proses ini, permukaan sampel dihaluskan dengan mesin grinding menggunakan kertas amplas grid 120,400, dan 600.

2.2.3 Pengujian Polarisasi dan Pengujian Rendam

1. Pengujian Polarisasi

Pengujian polarisasi bertujuan untuk mengetahui laju korosi yang terjadi pada sampel. Pengujian polarisasi menggunakan software Gamry 6.25. Pada pengujian ini sampel yang sudah di sambungkan dengan kabel tembaga dan telah dimounting akan di masukan kedalam media korosif bersama reference elektrode (*saturated calomel reference (SCL)*) dan counter electrode (platina).

Pada pengujian polarisasi akan menghasilkan kurva polarisasi anodik-katodik.

2. Pengujian Rendam

Pengujian weight loss menggunakan standar ASTM-G31. Dimana pada pengujian ini spesimen di gantung menggunakan senar, kemudian di rendam didalam kontainer yang berisi media korosif. Pada pengujian ini spesimen direndam selama 28 hari dan dilakukan pengambilan sampel sebanyak 2 sampel pada hari ke 7,14, dan 28. Kemudian dilakukan perendaman 2 sampel pada hari ke 21.

Setelah perendaman, akan dilakukan proses pickling sesuai ASTM G-1 untuk membersihkan spesimen dari korosi lalu ditimbang untuk mendapatkan massa setelah dilakukan perendaman.

Persamaan yang digunakan untuk mengetahui laju korosi pada pengujian rendam adalah :

$$CR = \frac{KW}{DAT} \tag{1}$$

2.2.4 Pembuatan Medium Korosif

Pada penelitian ini terdapat 2 variasi medium korosif, yaitu NaCl 3.5% dan HCl pH3. Untuk pembuatan larutan NaCl 3.5% menggunakan aquades 1000ml dan 3.5 gram NaCl. Untuk pembuatan HCl pH3 menggunakan 1000 aquades dan HCl 37% sebanyak 0.083ml.

2.3 Metode Karakterisasi

2.3.1 Metalografi

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui karakterisasi ferit dan perlit pada materal Baja API 5l Grade B setelah mengalami perlakuan panas. Pengujian ini dilakukan di Pusat Penelitian Material dan Metalurgi LIPI (Metallurgical and Materials Research Center-LIPI).

2.3.2 FTIR

Pengujian FTIR bertujuan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat pada inhibitor kulit buah naga merah. Pengujian FTIR dilakukan di Pusat Penelitian Kimia LIPI (Chemicals Research Center-LIPI).

2.3.3 XRF

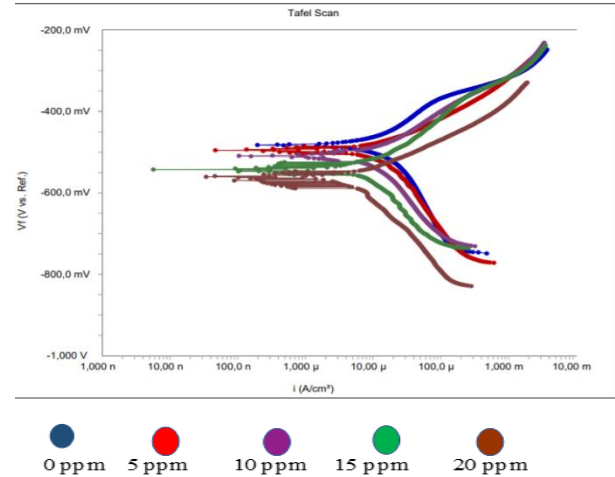
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kadar unsur yang terdapat pada material Baja API 5l Grade B setelah mengalami perlakuan panas.

Pengujian ini dilakukan di Pusat Penelitian Material dan Metalurgi LIPI (Metallurgical and Materials Research Center-LIPI).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengujian Polarisasi

3.1.2 Kurva Tafel Polarisasi NaCl 3.5%



Gambar 3. Gabungan Kurva Tafel Korosi Baja API 5L Grade B Perlakuan Panas NaCl 3.5%

Pengujian polarisasi tafel dilakukan sebanyak 3 kali, maka didapat hasil sebagai berikut :

Tabel 1 Data Tafel NaCl 3.5%

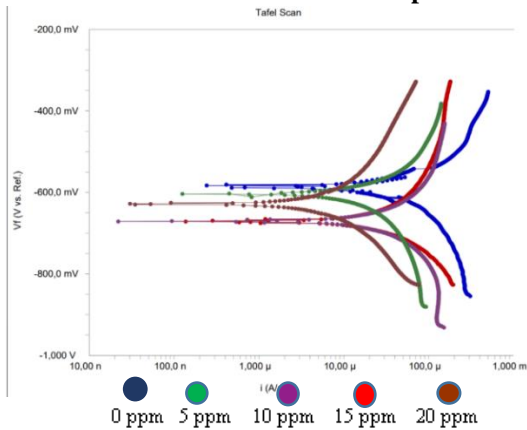
Konsentrasi inhibitor (ppm)	E _{corr} (mV)	I _{corr} (A/cm ²)	Laju Korosi (mpy)
0	-592,66	16,23	14,546
5	-577,7	12,626	11,316
10	-557,3	10,1	9,263
15	-581,16	8,461	7,582
20	-582,63	6,013	5,469

Dari data pengujian polarisasi di atas dapat kita simpulkan bahwa menurunnya laju korosi pada Baja API 5l Grade B Perlakuan Panas apabila adanya penambahan inhibitor ekstrak kulit buah naga ke medium korosif NaCl.

Laju korosi pada Baja API 5l Grade B Perlakuan Panas tanpa adanya penambahan inhibitor sebesar 14.546 mpy, kemudian apabila kita menambahkan inhibitor sebesar 5ppm maka laju korosi akan menurun menjadi 11,316 mpy. Pada penambahan inhibitor 10 ppm laju korosi kembali mengalami penurunan menjadi 9.263 mpy. Pada penambahan inhibitor 15ppm laju korosi akan berkurang menjadi 7.582 mpy, dan pengurangan paling tinggi terdapat pada penambahan inhibitor 20ppm menjadi sebesar 5.469 mpy. Jadi, laju korosi paling besar terdapat pada penambahan inhibitor 0ppm kemudian menurun seiring penambahan inhibitor ekstrak kulit buah naga merah hingga laju

korosi paling kecil terdapat pada penambahan inhibitor 20 ppm.

3.1.3 Kurva Tafel Polarisasi HCl pH 3



Gambar 4 Gabungan Kurva Tafel Korosi Baja API 5L Grade B Perlakuan Panas HCl pH 3

Pengujian polarisasi tafel dilakukan sebanyak 3 kali, hasilnya adalah :

Tabel 2. Data Tafel HCl pH 3

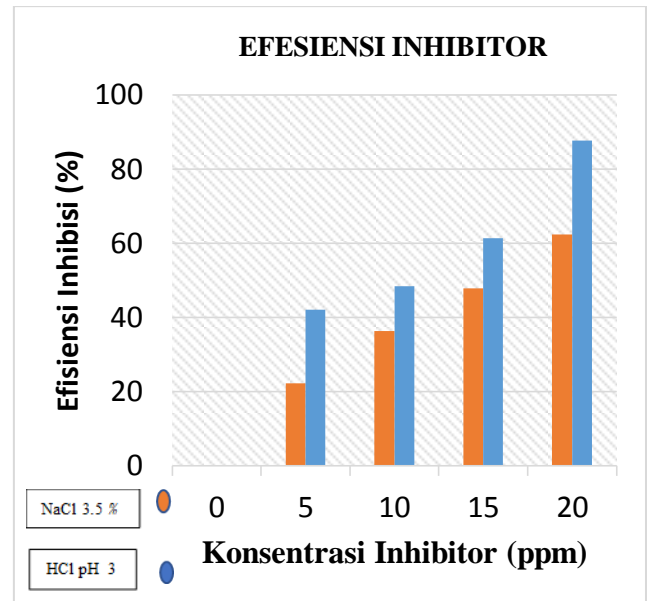
Kosentrasi inhibitor (ppm)	E_{corr} (mV)	$I_{corr}(A/cm^2)$	Laju Korosi (mpy)
0	-563	124,366	75,27
5	-697	48,12	43,51
10	-675,83	43,24	38,75
15	-596,16	32,37	29,01
20	-571,4	10,301	9,232

Laju korosi pada Baja API 5L Grade B Perlakuan Panas tanpa adanya penambahan inhibitor sebesar 75.27 mpy, kemudian apabila kita menambahkan inhibitor sebesar 5ppm maka laju korosi akan menurun menjadi 43.51 mpy. Pada penambahan inhibitor 10 ppm laju korosi kembali mengalami penurunan menjadi 38.75 mpy. Pada penambahan inhibitor 15ppm laju korosi akan berkurang menjadi 29.01 mpy, dan pengurangan paling tinggi terdapat pada penambahan inhibitor 20ppm menjadi sebesar 9.232 mpy. Jadi, laju korosi paling besar terdapat pada penambahan inhibitor 0ppm kemudian menurun seiring penambahan inhibitor ekstrak kulit buah naga merah hingga laju korosi paling kecil terdapat pada penambahan inhibitor 20 ppm.

3.1.4 Efisiensi Inhibisi

Adapun efisiensi inhibisi yang terdapat dalam ekstrak kulit buah naga yang dapat kita lihat dibawah ini. Dari data diatas, kita dapat mengetahui bahwa efisiensi tertinggi terletak pada penambahan inhibitor 20 ppm pada setiap medium korosi. Kemudian dari data diatas kita dapat menyimpulkan juga bahwa, inhibitor ekstrak kulit buah naga lebih efisien bekerja pada medium korosif HCl pH 3 dibandingkan dengan medium korosif NaCl 3.5 % dalam penambahan kadar inhibitor yang sama. Harapannya dibutuhkan

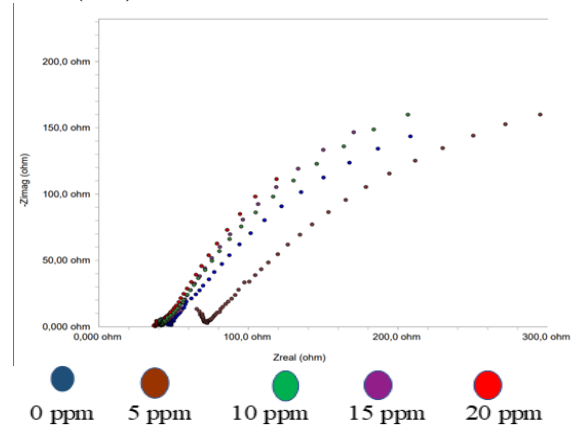
penelitian yang lebih lanjut untuk dapat meningkatkan efisiensi yang lebih tinggi.



Gambar 5. Kurva Efisiensi Inhibisi

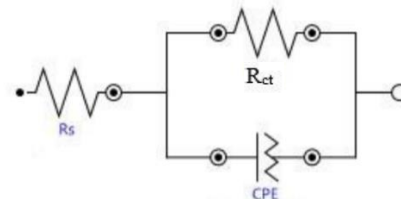
3.2 Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)

3.2.1 Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) NaCl 3.5%



Gambar 6. Kurva Niquist NaCl 3.5%

Semakin besar diameter kurva niquist maka semakin besar hambatan yang dihasilkan . Pada pengujian EIS dilakukan proses fit and simulation yang diperoleh dari Constant Phase Element (CPE) dengan rangkaian sebagai berikut :



Gambar 7. Rangkaian CPE

Dimana R_s (solution resistance) ialah tahanan larutan dan R_{ct} ialah tahanan transfer muatan. Semakin tinggi nilai R_{ct} maka semakin tinggi pula hambatan yang terjadi dalam proses korosi.

Dengan menggunakan fit and simulation dari CPE, maka didapat data sebagai berikut :

Tabel 3. Data Pengujian EIS NaCl 3.5%

Rct (Ω)	927.3	1.13E+03	1.33E+03	2.93E+03	2.47E+06
Konsent rasi inh	0 ppm	5 ppm	10 ppm	15 ppm	20 ppm

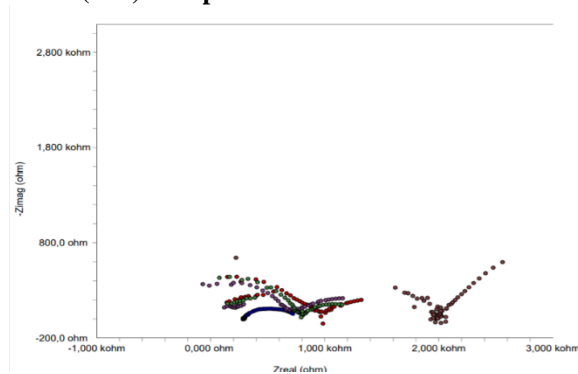
Dari data diatas dapat diketahui seberapa besar nilai hambatan yang terjadi dalam proses korosi pada Baja API 5L Grade B Setelah Perlakuan Panas dalam media korosif NaCl 3.5% dengan variasi penambahan jumlah inhibitor ekstrak kulit buah naga merah. Dalam pengujian ini hambatan korosi yang terjadi tanpa penambahan inhibitor sebesar 927.3 Ω dan hambatan korosi paling tinggi terletak pada penambahan inhibitor 20 ppm yaitu sebesar 2.47E+06 Ω.

Penyebab dari pada *surface coverage* merupakan molekul inhibitor mempunyai kemampuan mengadsorpsi dan menutupi dua daerah aktif permukaan logam, dimana daerah tersebut adalah proses anodik (pelarutan logam menjadi kation logam) dan/ atau proses katodik (evolusi hidrogen) (Cardozo da Rocha,2014). Pada medium korosif NaCl 3.5 %, inhibitor ekstrak kulit buah naga memiliki coverage area (θ) sebagai berikut :

Tabel 4. Coverage Area pada Medium Korosif NaCl 3.5%

Ppm	0 ppm	5 ppm	10 ppm	15 ppm	20 ppm
θ	0	0.22	0.36	0.47	0.62

3.2.2 Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) HCl pH 3



Gambar 8. Kurva nyquist HCl pH 3

Dari kurva niquist diatas dilakukan proses fit and simulation menggunakan CPE circuit, maka di dapat hasil sebagai berikut :

Tabel 5. Pengujian EIS HCl pH3

Rct	461.1	941.6	1.05E+03	1.12E+03	1.79E+03
Konsent rasi inh	0 ppm	5 ppm	10 ppm	15 ppm	20 ppm

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa penambahan inhibitor ekstrak kulit buah naga dapat memperbesar hambatan korosi yang menyebabkan berkurangnya laju korosi. Hambatan korosi yang

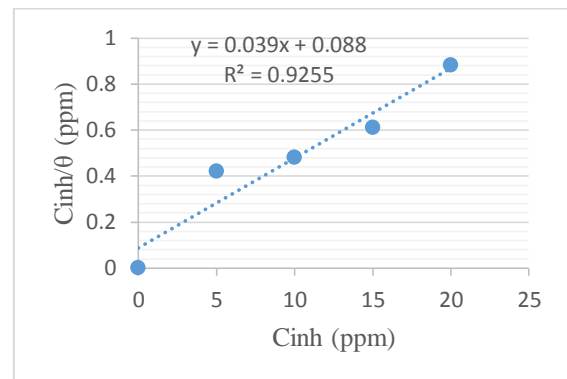
terjadi pada Baja API 5L Grade B tanpa adanya inhibitor adalah sebesar 461.1 Ω dan hambatan tertinggi terletak pada penambahan inhibitor 20 ppm sebesar 1.79E+03 Ω .

Pada medium korosif HCl pH 3, inhibitor ekstrak kulit buah naga memiliki coverage area (θ) sebagai berikut :

Tabel 6 Coverage Area pada Medium Korosif HCl Ph 3

Ppm	0 ppm	5 ppm	10 ppm	15 ppm	20 ppm
θ	0	0.42	0.48	0.61	0.88

Di sisi lain, mengikuti kaidah Langmuir Adsorption isotherm. Dimana adanya hubungan linear antara C_{inh}/θ dan C_{inh} dengan metode regresi linear. Dengan menggunakan metode regresi linear, nilai dari R2 mendekati nilai 1 dan nilai kemiringan juga hampir sama dengan 1, dimana mengindikasikan permukaan baja mengikuti kaidah Langmuir Adsorption Isotherm. Kesimpulan ini juga di perkuat dengan makalah ilmiah “Studi Awal Potensi Daun Belimbing Wuluh Sebagai Inhibitor Korosi Pada Baja Karbon Di Larutan Asam Klorida” (Gadang Priyotomo, Lutviasari Nuraini). Kurva dari persamaan Langmuir adsorption isotherm dapat dilihat dibawah ini:



Gambar 9. Kurva Regresi Linear HCl Ph 3

3.3 Pengujian Rendam

3.3.1 Pengujian Rendam NaCl 3.5 %

Pengujian weightloss dilakukan dengan menggunakan kontainer yang berisi medium korosif sebanyak 7 liter, kemudian spesimen direndam menggunakan senar. Pengambilan spesimen dilakukan pada hari ke 7, 14, dan 28. Kemudian pada hari ke 21 kembali dilakukan perendaman spesimen untuk mengetahui Planned Interval Corrosion Test sesuai ASTM G-31. Hasil dari pengujian weight loss dapat dilihat dari tabel dibawah ini :

Tabel 7. Data Pengujian Weight Loss NaCl 3.5%

No	Kode material	A (cm ²)	W ₀ (gram)	W ₁ (gram)	CR (mpy)
----	---------------	----------------------	-----------------------	-----------------------	----------

1	Hari 7 =A1	8,302	16,28	16,24	12,65
2	Hari 21 =A3	8,302	17,25	17,14	11,59
3	Hari 28 = A4	8,302	17,27	17,14	10,28
4	Hari 21-28 =B	8,302	17,36	17,32	12,65

Dari data di atas dapat kita lihat bahwa perendaman selama 7 hari menghasilkan laju korosi sebesar 10.28 mpy, kemudian pada perendaman selama 21 hari besar laju korosinya adalah 11.59 mpy, lalu pada perendaman selama 28 hari besar laju korosinya adalah 12.65 mpy. Laju korosi untuk material pada hari ke 21-28 sebesar 12.65 mpy. Laju korosi pada setiap variasi waktu tidak mengalami perubahan yang signifikan, dikarenakan kadar larutan korosif tidak mengalami perubahan yang terlalu besar. Pada pengujian weightloss kita dapat menentukan data dari Planned Interval Corrosion test sesuai dengan ASTM G-31. Nilai A2 dapat kita hitung dengan mengurangkan A3 - A4. Dari data pada tabel ASTM G-31, maka dapat dilihat bahwa sifat korosif pada larutan tidak berubah dan sifat korosif pada material menurun (kriteria nomor 2).

3.3.2 Pengujian Rendam HCl pH 3

Pengujian weightloss dilakukan dengan menggunakan kontainer yang berisi medium korosif sebanyak 7 liter, kemudian spesimen direndam menggunakan senar. Pengambilan spesimen dilakukan pada hari ke 7, 14, dan 28. Kemudian pada hari ke 21 kembali dilakukan perendaman spesimen untuk mengetahui Planned Interval Corrosion Test sesuai ASTM G-31. Hasil dari pengujian weight loss dapat dilihat dari tabel dibawah ini :

Tabel 8 Data uji rendam HCl pH 3

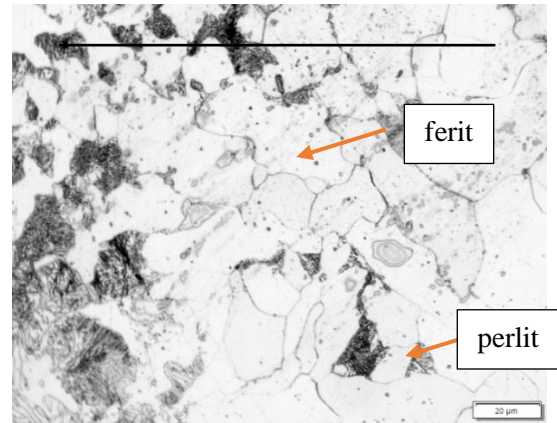
N o	Kode material	A	W ₀	W ₁	CR
1	Hari 7 = A1	8,302	16,23	16,091	43,97
2	Hari 21 =A3	8,302	16,21	15,86	36,9
3	Hari 28 =A4	8,302	17,41	17,01	31,63
4	Hari 21-28=B	8,302	17,35	17,23	37,96

Pada tabel di atas dapat dilihat bahwa laju korosi pada material Baja API 51 Grade B Setelah Perlakuan Panas hari ke 7 sebesar 31.63 mpy, kemudian pada hari ke 21 memiliki laju korosi sebesar 36.9 mpy, lalu pada hari ke 28 memiliki laju korosi sebesar 43.97 mpy. Kemudian besar laju korosi untuk perendaman di hari ke 21-28 adalah sebesar 37.96 mpy. Pada pengujian weightloss kita juga dapat menentukan data dari Planned Interval Corrosion test sesuai dengan ASTM G-31. Nilai A2 dapat kita tentukan dengan mengurangkan A3-A4 . Dari tabel 4.8, maka dapat dilihat bahwa sifat korosif pada larutan dan material menurun (kriteria nomor 5).

3.4 Pengujian Metalografi

Untuk membandingkan material Baja API 51 Grade B Setelah Perlakuan Panas dengan tanpa Setelah Perlakuan Panas dapat diketahui dengan melihat struktur mikronya. Berikut struktur mikro pada material yang di Setelah Perlakuan Panas dan tanpa Setelah Perlakuan Panas :

1. Pengujian metalografi Baja API 51 Grade B Setelah Perlakuan Panas



Gambar 10. Struktur mikro perbesaran 1000x

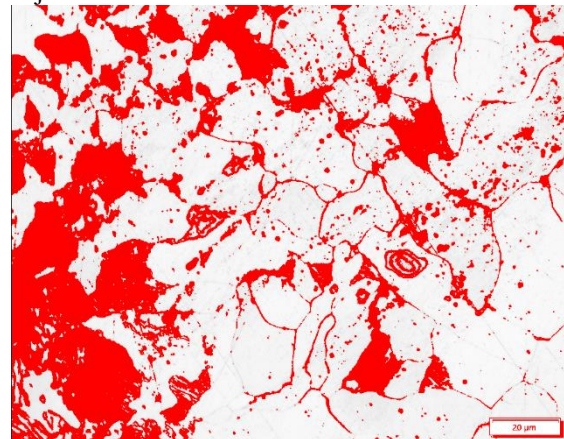
Untuk mencari grain size, dapat digunakan aplikasi imageJ. Dengan menarik garis sepanjang 150µm ada 11 struktur yang bersinggungan dengan garis. Maka kita dapat :

$$\text{Average grain size} = \frac{\text{line length}}{\text{number of grain}} \quad (2)$$

$$\text{Average grain size} = \frac{150}{11}$$

$$\text{Average grain size} = 11.54$$

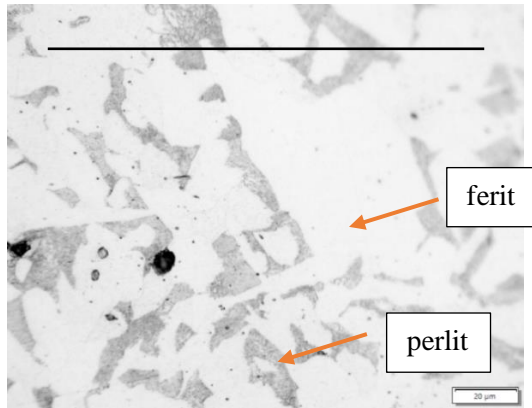
Menggunakan aplikasi *imageJ*, kita dapat menentukan presentasi dari pada fasa perlit material baja API 51 Grade B Setelah Perlakuan Panas.



Gambar 11. presentasi perlit setelah perlakuan Panas

Dari aplikasi *imageJ* presentasi perlit yang didapat sebesar 28.97 % dan ferit sebesar 71.03%.

2. Pengujian metalografi Baja API 51 Grade B Sebelum Perlakuan Panas



Gambar 12. Struktur Mikro perbesaran 1000x

Untuk mencari grain size, dapat digunakan aplikasi *imageJ*. Dengan menarik garis sepanjang 150um ada 11 stuktur yang bersinggungan dengan garis. Maka kita dapat :

$$\text{Average grain size} = \frac{\text{line length}}{\text{number of grain}} \quad (3)$$

$$\text{Average grain size} = \frac{157}{4}$$

$$\text{Average grain size} = 39.52 \mu\text{m}$$

Dari data diatas dapat kita lihat pada material Baja API 51 Grade B Setelah Perlakuan Panas memiliki ukuran butir yang lebih besar dan lebih ekuiaksial (bulat) dibandingkan material Baja API 51 Grade B tanpa perlakuan. Menggunakan aplikasi *imageJ*, kita dapat menentukan presentasi dari pada fasa perlit material baja API 51 Grade B Sebelum Perlakuan Panas. Dari aplikasi *imageJ* presentasi perlit yang didapat sebesar 19.79 % dan ferit sebesar 80.21%.



Gambar 13. Presentasi Perlit sebelum perlakuan Panas

3.5 Pengujian XRF

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui persentase unsur yang terkandung pada material Baja API 51 Grade B. Hasil pengujian XRF pada material Baja API 51 Grade B dapat kita lihat dibawah ini :

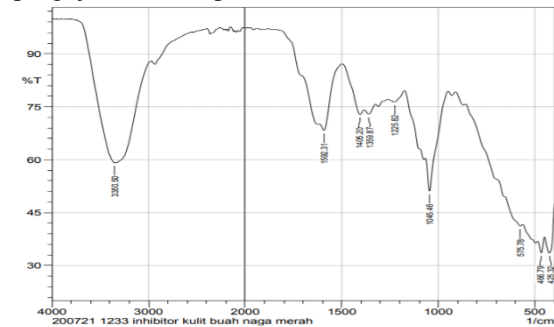
Tabel 9. Hasil Pengujian XRF

Sample ID	Experiment name	Ti (%)	Cu (%)	Mg (%)	Cr (%)	Ca (%)	Fe (%)	Al (%)	Si (%)	Cl (%)	S (%)	Ni (%)	P (%)	Mn (%)
H.T	SMART-Elements	0.02	0.185	0.11	0.135	0.25	97.84	0.07	0.7	0.029	0.04	0.0632	0.011	0.4859

Dari data diatas, maka besar carbon yang dimiliki oleh material Baja API 51 Grade B adalah 0.25% yang dimana termasuk dalam material baja karbon rendah.

3.6 Pengujian FTIR

Pada pengujian FTIR bertujuan untuk mengetahui gugus ikatan yang terkandung dalam inhibitor ekstrak kulit buah naga. Hasil dari pengujian FTIR dapat kita lihat dibawah ini :



Gambar 14. Grafik FTIR Ekstrak Kulit Buah Naga

Dari data diatas terdapat grafik FTIR berikut dengan peaknya, yang dapat kita analisa dalam tabel dibawah ini.

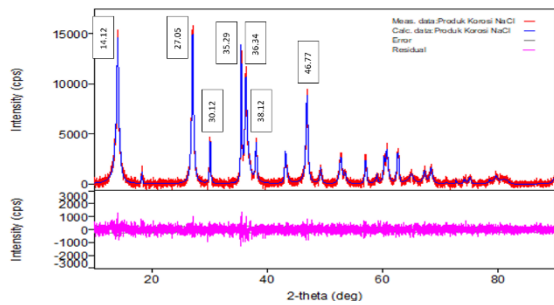
Tabel 10. Analisa Gugus Fungsi Inhibitor Kulit Buah Naga

No	Ikatan	Tipe dan Grup	Range Frekuensi (cm ⁻¹)	Inhibitor Kulit Buah Naga (cm ⁻¹)
1	O-H	Polymeric	3230-3400	3350.5
2	NH	Sec Amines	1550-1650	1592.31
3	O-H	Alcohol	1390-1420	1405.2
4	O-H	PHenols	1310-1410	1359.87
5	R-O-R	Aromatic Ethers	1200-1260	1225.82
6	C-OH	Primary Alcohols	1010-1075	1045.46
7	C-Br	Bromides	500-600	575.78

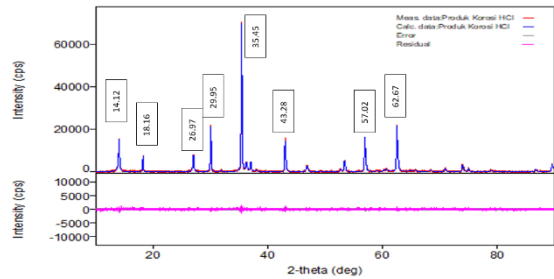
Analisa FTIR berdasarkan referensi “ *A Book of Spectroscopic Data Chemistry* “ oleh B.D Mistry 2009002E. Ekstrak kulit buah naga memiliki kandungan anti oksidan berupa antosianin dan flavonoid. Flavonoid biasanya senyawa yang terdapat pada inhibitor organik, dengan demikian ekstrak ini berpotensi sebagai inhibitor.

3.7. Pengujian XRD

Pada pengujian XRD bertujuan untuk mengetahui komposisi atom produk korosi dalam medium korosif yang digunakan dalam pengujian weightloss. Hasil dari pengujian XRD dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 15. Grafik XRD Hasil Korosi larutan NaCl 3.5%



Gambar 16. Grafik XRD Hasil Korosi Larutan HCL pH 3

Komposisi atom ditentukan dengan menggunakan software match 3. Pada grafik XRD hasil korosi NaCl 3.5% didominasi oleh komposisi atom FeO₂ (Ewing,1935) dengan peak intensity pada medium NaCl terdapat pada 2-θ(14.140, 27.070, 35.4641, 36.288, 46.902) pada hasil tersebut terbentuk fasa lepidocrocite. Menggunakan software *match* kita juga dapat mengetahui struktur kristal dari tiap peak pada pengujian XRD. Untuk produk korosi NaCl 3.5% dapat di lihat di bawah ini.

Tabel 11. Senyawa Penyusun Produk Korosi Nacl 3.5%

No	2th	Composition	Crystal Structure
1	14.12	FeO ₂	orthorhombic
2	27.05	FeO ₂	orthorhombic
3	30.12	FeO ₂	orthorhombic
4	35.29	Fe ₃ O ₄	Cubic
5	36.34	FeO ₂	orthorhombic
6	38.12	FeO ₂	orthorhombic
7	46.77	FeO ₂	orthorhombic

Pada grafik XRD hasil korosi HCl pH 3 fase yang terdapat pada grafik tersebut adalah fase magnetite(O’Neil.et al,1994) dengan formula Fe₃O₄ dengan peak intensity terdapat pada 2-θ (35.4212). Susunan struktur kristal dari tiap peak pada pengujian XRD. Untuk produk korosi HCl pH 3 dapat di lihat di bawah ini.

Tabel 12. Senyawa penyusun produk korosi HCl Ph3.

No	2th	Composition	Crystal Structure
1	14.12	FeO ₂	Cubic
2	18.16	Fe ₃ O ₄	Cubic
3	26.07	Fe ₂ O ₃	Tetragonal
4	29.95	Fe ₃ O ₄	Cubic
5	35.45	Fe ₃ O ₄	Cubic
6	43.28	Fe ₃ O ₄	Cubic

7	57.02	Fe ₃ O ₄	Cubic
8	62.67	Fe ₃ O ₄	Cubic

4. Simpulan

Berdasarkan hasil perhitungan serta analisa yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Kulit buah naga merah berpotensi sebagai inhibitor, hal ini ditunjukkan dari menurunnya laju korosi pada saat penambahan konsentrasi ekstrak kulit buah naga merah ke dalam medium korosif.
2. Laju korosi menurun seiring dengan penambahan inhibitor kulit buah naga merah. Hal ini terbukti dari hasil pengujian laju korosi dengan metode tafel untuk setiap variasi inhibitor (0ppm, 5ppm,10ppm, 15ppm, dan 20ppm) maka didapatkan laju korosi paling tinggi pada 0 ppm. Laju korosi kemudian mengalami penurunan seiring dengan penambahan inhibitor dan laju korosi paling kecil terendah terdapat pada penambahan inhibitor 20ppm.
3. Inhibitor kulit buah naga merah termasuk inhibitor adsorpsi. Dimana mekanisme kerja dari inhibitor adsorpsi adalah dengan melindungi permukaan logam dari medium korosif sehingga dapat menghambat laju korosi. Hal ini dapat kita lihat dengan menggunakan persamaan Langmuir Isotherm Adsorption, dimana regresi linear dari persamaan tersebut mendekati 1.
4. Larutan HCl pH 3 lebih korosif terhadap Baja API 5l Grade B Setelah Perlakuan Panas dibandingkan dengan larutan NaCl 3.5%. Hal ini dapat dilihat dari pengujian korosi dengan metode tafel, dimana material memiliki laju korosi lebih tinggi pada larutan HCl pH 3 dibandingkan larutan NaCl 3.5%. Pada NaCl 3.5%, medium korosif tidak berubah tetapi sifat korosif material berkurang. Pada HCl pH 3 medium korosif meningkat tetapi sifat korosif pada material berkurang. Hal itu dapat dilihat dari pengujian *weightloss* pada material Baja API 5l Grade B Setelah Perlakuan Panas.

Daftar Pustaka

- [1] Fatmala,R.A, 2013, *Proses Pembuatan Baja*, FMIPA Universitas Pakuan.
- [2] Tretheway, K. C, 1991, *Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*, Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- [3] M, S. r. 2006. *Dampak Dan Pencegahan Korosi*, Universitas Pakuan Bogor.
- [4] Handbook, A. 1992, *Corrosion, 3rd ed.* New York: ASM International.

- [5] Pranata, R., 2013, *Uji Aktivitas Antioksidan Fraksi Kloroform Kulit Buah Naga Merah (Hylocerus Lemaire Britton dan Rose) Menggunakan Metode DPPH (1.1-Difenil-2-Pikrilhidrazil)*, hal. 6-7.



Analisa Pengaruh Variasi Temperatur dan Tekanan Terhadap Unjuk Kerja Mesin CFM56-7B18

Arum Amalia, I Gusti Ketut Sukadana, I Ketut Gede Wirawan
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Mesin CFM56-7B18 merupakan salah satu jenis dari mesin pesawat yang cukup banyak digunakan. Diketahui bahwa pesawat merupakan moda transportasi yang sering digunakan dan sangat berguna bagi banyak orang. Tujuan dari penelitian adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh dari temperatur dan tekanan udara pada saat pesawat climbing terhadap unjuk kerja dari mesin tersebut yang kemudian akan dibandingkan dengan hasil dari perhitungan simulator EngineSim. Variasi temperatur udara yang dianalisa yaitu pada 268,7 K ; 262,2 K ; 255,7 K ; 249,2 K ; 242,7 K. Variasi tekanan udara yang dianalisa yaitu pada 70,12 kPa ; 61,66 kPa ; 54,05 kPa ; 47,22 kPa ; 41,44 kPa. Hasil dari perhitungan yang telah dilakukan menunjukkan bahwa gaya dorong akan menurun seiring dengan menurunnya temperatur dan tekanan udara, efisiensi propulsi mengalami penurunan seiring dengan menurunnya temperatur dan tekanan udara, serta konsumsi bahan bakar spesifik yang akan mengalami kenaikan pada saat temperatur dan tekanan udara menurun.

Kata kunci: CFM56-7B18, EngineSim, Gaya Dorong, Efisiensi Propulsi, TSFC

Abstract

The CFM56-7B18 engine is one type of aircraft engine that is quite widely used. It is recognized that the plane is a mode of transportation that is often used and very useful for many people. The purpose of this research is to find out how the influence of temperature and air pressure when the aircraft is climbing on the performance of the machine which will then be compared with the results of the EngineSim simulator calculations. The analyzed air temperature variations are at 268.7 K; 262.2 K; 255.7 K; 249.2 K; 242.7 K. The variations in air pressure were analyzed at 70.12 kPa; 61.66 kPa; 54.05 kPa; 47.22 kPa; 41.44 kPa. The results of the calculations that have been carried out show that the thrust will decrease with decreasing temperature and air pressure, propulsion efficiency decreases with decreasing temperature and air pressure, and the specific fuel consumption will increase when the temperature and air pressure decrease.

Keywords: CFM56-7B18, EngineSim, Thrust, Propulsion Efficiency, TSFC

1. Pendahuluan

Transportasi udara dalam pengoperasiaannya harus memperhatikan beberapa hal yang berkaitan dengan keselamatan penerbangan secara keseluruhan, termasuk efisiensi, efektivitas, dan kenyamanan. Namun dalam penerapannya terdapat pula hambatan dari berbagai faktor. Salah satu hambatan yang bisa terjadi adalah faktor meteorologi atau cuaca. Temperatur dan tekanan udara merupakan faktor penting dalam operasional penerbangan yang perlu diamati guna mencapai keselamatan penerbangan. Adapun pada setiap daerah dan setiap posisi ketinggian akan mempunyai temperatur dan tekanan yang berbeda-beda dan senantiasa berubah tiap waktunya [1], [2]. Radiasi matahari akan sangat berpengaruh pada distribusi temperatur di atmosfer, sehingga temperatur udara selalu mengalami perubahan. Dalam meteorologi, ketinggian 1,25 sampai 2 meter dari permukaan tanah disebut dengan temperatur udara permukaan [3], [4]. Kerapatan udara akan selalu berbanding terbalik dengan temperatur udara. Kerapatan udara pada lapisan *troposfer* akan berbeda tiap ketinggian dan temperatur akan akan menurun terhadap ketinggian[3]. Hal tersebut erat kaitannya dengan

daya dorong (*thrust*) pada pesawat terbang ketika berada pada posisi lapisan tertentu dari atmosfer.

Saat pesawat mengudara terdapat 4 gaya yang berhubungan, yaitu gaya angkat (*lift*), gaya berat (*weight*), gaya dorong (*thrust*), dan gaya hambat (*drag*). Ketika pesawat berada pada kondisi menjelajah (*cruise*) dengan ketinggian dan kecepatan tetap, terdapat kesetimbangan pada keempat gaya tersebut, dimana gaya angkat akan seimbang dengan gaya berat dan gaya dorong akan seimbang dengan gaya hambat. Namun, akan terjadi akselerasi dan deselerasi ketika pesawat sedang dalam kondisi *takeoff* dan *landing*. Dimana akselerasi dan deselerasi tersebut bisa dijelaskan sesuai dengan Hukum II Newton, yaitu total dari gaya merupakan hasil perkalian dari massa dengan percepatan [3].

Adapun permasalahan yang terkait dengan penelitian ini adalah bagaimana pengaruh variasi temperatur dan tekanan udara terhadap unjuk kerja mesin CFM56-7B18.

Beberapa batasan-batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

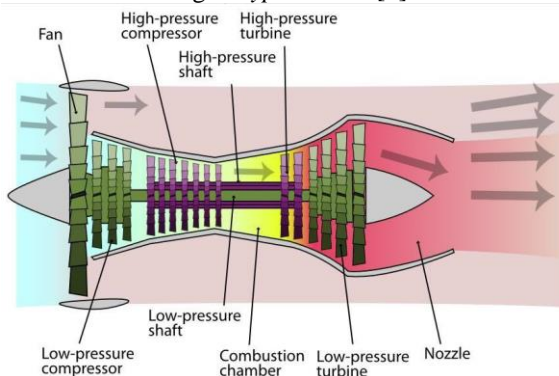
1. Kondisi yang ditentukan adalah pada saat *climbing*.
2. Tipe dari mesin pesawat yang digunakan yaitu CFM56-7B18.

- Analisa perbandingan dilakukan menggunakan program *EngineSim*.

2. Dasar Teori

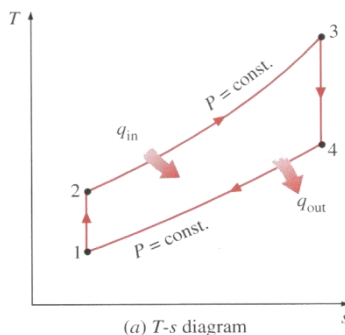
2.1. Turbofan

Turbofan merupakan jenis yang paling modern dari mesin gas turbin. *Turbofan* bekerja dengan cara menarik udara di sekitar masuk kedalam mesin. Beberapa udara yang masuk melewati baling-baling yang kemudian menuju kompresor dan disalurkan ke ruang bakar, dimana udara akan dicampur dengan bahan bakar dan terjadilah pembakaran. Hasil dari pembakaran akan disalurkan menuju turbin dan keluar melalui nosel. Beberapa dari udara yang masuk melewati baling-baling tidak masuk ke dalam mesin melainkan hanya beradda di sekitar mesin dan menjadi penyokong utama dalam daya dorong. Udara yang melewati baling-baling memiliki kecepatan yang sedikit lebih tinggi daripada aliran udara bebas. Jadi *turbofan* mendapatkan bebrapa daya dorong dari mesin dan beberapa daya dorong dari baling-baling. Rasio dari udara yang berada di sekitar mesin dengan udara yang masuk ke dalam mesin disebut dengan *bypass ratio* [5].



Gambar 1. Mesin Turbofan (sumber: Wikipedia, 2019)

2.2. Siklus Ideal Pada Mesin Turbin Gas



Gambar 2. T-s Diagram Siklus Brayton Ideal Pada Mesin Turbin Gas (sumber: Cengel & Boles, 2006)

T-s diagram ditunjukkan pada gambar 2. Keempat proses dari Siklus Brayton terjadi pada kondisi *Steady Flow* (aliran yang stabil). Ketika perubahan energi kinetik menjadi energi potensial diabaikan, keseimbangan energi untuk proses aliran

tetap dapat diekspresikan, berdasarkan satuan massa [6].

$$(q_{in} - q_{out}) + (w_{in} - w_{out}) = h_{exit} - h_{inlet} \quad (1)$$

Untuk itu, panas yang dipindahkan dari dan ke fluida kerja [6] adalah

$$q_{in} = h_3 - h_2 = c_p(T_3 - T_2) \quad (2)$$

Dan

$$q_{out} = h_4 - h_1 = c_p(T_4 - T_1) \quad (3)$$

Kemudian efisiensi termal dari siklus brayton dibawah standar udara dingin diasumsikan menjadi [6]

$$\eta_{th, Brayton} = \frac{w_{net}}{q_{in}} = 1 - \frac{q_{out}}{q_{in}} = 1 - \frac{c_p(T_4 - T_1)}{c_p(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_1(T_4 - T_1) - 1}{T_2(T_3 - T_2) - 1} \quad (4)$$

Proses 1-2 dan 3-4 merupakan isentropik, dan $P_2 = P_3$ dan $P_4 = P_1$. Jadi,

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{P_3}{P_4}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \frac{T_3}{T_4} \quad (5)$$

Mensubstitusikan persamaan ini ke dalam efisiensi termal dengan penyederhanaan [6]

$$\eta_{th, brayton} = 1 - \frac{1}{r_p^{\frac{k-1}{k}}} \quad (6)$$

Dimana

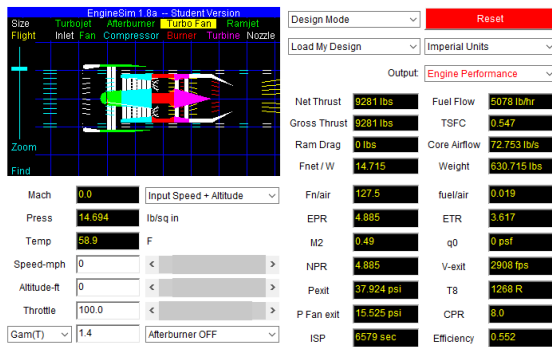
$$r_p = \frac{P_2}{P_1} \quad (7)$$

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi daya dorong adalah sebagai berikut:

- Nosel
- Kecepatan Udara
- Aliran Massa Udara
- Ketinggian
- Tekanan Ram

2.3. EngineSim

EngineSim dikembangkan di NASA Glenn Research dalam upaya untuk membantu pembelajaran berbasis inkuiri di bidang sains dan matematika. *EngineSim* merupakan simulator yang memodelkan desain dan pengujian *jet engine*. Program tersebut bekerja dalam dua mode: *Design Mode* atau *Tunnel Test Mode*. Pada *Design Mode*, dapat merubah desain dari variable termasuk kondisi penerbangan, ukuran mesin, performa *inlet*, *turbo machinery* kompresor dan performa turbin, performa ruang bakar, performa nosel. Untuk desain mesin *turbofan* juga dapat diubah dalam performa *fan* dan *bypass ratio*. Ketika mempunyai desain yang diinginkan, dapat beralih ke *Tunnel Test Mode*, dimana hanya dapat mengubah kondisi penerbangan (kecepatan udara, ketinggian, dan pengaturan *throttle*). Dengan menggunakan simulator ini dapat mengetahui bagaimana *jet* (atau turbin) mesin menghasilkan daya dorong dengan mengubah nilai-nilai parameter mesin yang berbeda [7].



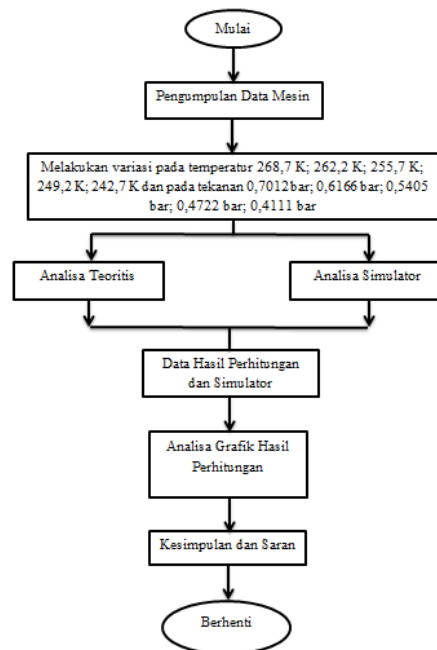
Gambar 3. EngineSim

3. Metode Penelitian

Pada penilitan kali ini metode yang dilakukan adalah analisis yang akan dilakukan dalam beberapa tahapan. Adapun data temperatur dan tekanan diperoleh dari *International Standard Atmosphere (ISA)*. Data spesifikasi dari mesin bisa diperoleh dari *Aircraft Manual Maintenance* dari Boeing. Program *Enginesim* bisa diunduh di laman web NASA. Setelah diperoleh semua data dan program yang dibutuhkan, maka yang diperlukan selanjutnya adalah mengolah data tersebut dengan serangkaian perhitungan untuk menampilkan daya dorong yang akan dihasilkan dari mesin. Secara garis besar, beberapa tahapan dari penelitian ini ditampilkan pada diagram alir gambar 4.

Adapun indikator keberhasilan dalam penelitian ini adalah kesesuaian perhitungan dimana daya dorong akan berkurang seiring dengan bertambahnya ketinggian pesawat dari permukaan laut atau dengan kata lain pesawat akan memerlukan tenaga yang lebih besar untuk mencapai suatu ketinggian tertentu, serta kesesuaian antara perhitungan pada program *Enginesim* dengan perhitungan termodinamika secara manual. Kemampuan suatu pesawat dan mesin (terutama pada daya dorong) akan sangat dipengaruhi oleh kerapatan udara. Daya dorong akan bertambah seiring dengan bertambahnya kerapatan udara. Akan tetapi, semakin tinggi ketinggian dari permukaan laut maka tekanan udara akan semakin berkurang, yang akan mengakibatkan berkurangnya kerapatan udara pula. Tekanan udara yang berkurang tersebut diakibatkan karena jumlah molekul dan atom akan berkurang terhadap ketinggian. Ketika kerapatan pada udara berkurang, mesin akan menghisap lebih sedikit udara. Apabila udara yang masuk ke dalam mesin lebih sedikit, maka massa gas yang keluar pun hanya sedikit karena kurangnya suplai udara pada proses pembakaran, hal tersebut akan memengaruhi tenaga dari mesin. Mesin yang mengeluarkan lebih sedikit massa gas akan mengurangi tenaga dari mesin tersebut dan mengurangi daya dorong. Sehingga ketika pesawat pada kondisi *take off* akan membutuhkan *runway* yang panjang dan daerah bebas hambatan di ujung *run*. Dapat disimpulkan bahwa apabila daya dorong meningkat akan

membuat kecepatan dan laju naik dari pesawat menjadi lebih cepat.



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Data Spesifikasi Mesin

Data-data spesifikasi mesin CFM56-7B18 yang telah diperoleh sebelumnya dan akan digunakan dalam melakukan adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Data Spesifikasi Mesin

Temperatur awal pada ketinggian 3000 m (T_{a1})	268,7 K
Temperatur awal pada ketinggian 4000 m (T_{a2})	262,2 K
Temperatur awal pada ketinggian 5000 m (T_{a3})	255,7 K
Temperatur awal pada ketinggian 6000 m (T_{a4})	249,2 K
Temperatur awal pada ketinggian 7000 m (T_{a5})	242,7 K
Tekanan awal pada ketinggian 3000 m (P_{a1})	70,12 kPa
Tekanan awal pada ketinggian 4000 m (P_{a2})	61,66 kPa
Tekanan awal pada ketinggian 5000 m (P_{a3})	54,05 kPa
Tekanan awal pada ketinggian 6000 m (P_{a4})	47,22 kPa
Tekanan awal pada ketinggian 7000 m (P_{a5})	41,11 kPa
Kecepatan udara yang masuk ke dalam mesin (V_a)	128,611 m/s
Kecepatan pesawat pada ketinggian 3000 m ($V_{aircraft}$)	128,611 m/s
Kapasitas kalor udara (C_p)	1,005 kJ/kg.K

Tabel 2. Data Spesifikasi Mesin (Lanjutan)

Kapasitas kalor gas pembakaran (C_{pg})	1,148 kJ/kg.K
Temperatur yang masuk ke dalam turbin (T_{04})	1500 K
Total aliran massa udara (\dot{m}_{udara})	371 kg/s
Konstanta pada proses kompresi (kc)	1,4
Konstanta pada proses ekspansi (kt)	1,333
Tekanan yang hilang pada ruang bakar (P_{LOSS})	0,06
Rasio tekanan pada kompresor tekanan rendah (r_{LPC})	4,912
Rasio tekanan pada kompresor tekanan tinggi (r_{HPC})	10,593
Rasio tekanan pada turbin tekanan rendah (r_{LPT})	4,912
Rasio tekanan pada turbin tekanan tinggi (r_{HPT})	10,593
Efisiensi pada kompresor (η_c)	0,85
Efisiensi pada turbin (η_T)	0,85
Efisiensi pada ruang bakar (η_{RB})	0,99
Efisiensi mekanik (η_m)	0,99
Efisiensi isentropik nosel (η_j)	0,95
Bypass Ratio (BPR)	5,5

4.2. Perhitungan Unjuk Kerja Mesin Secara Teoritis

Adapun perhitungan unjuk kerja mesin secara teoritis akan dijabarkan sebagai berikut, dengan mengacu pada temperatur 268,7 K dengan tekanan 70,12 kPa.

1. Menghitung temperatur udara pada difuser

$$T_{01} = T_a + \frac{\bar{v}_a^2}{2c_p} = 268,7 \text{ K} + \frac{(128,11 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 1005 \text{ J/kg K}} = 276,929 \text{ K}$$

2. Menghitung tekanan udara ideal pada difuser

$$P_{01}^i = P_a \cdot \left(\frac{T_a}{T_{01}}\right)^{\frac{kc}{kc-1}} = 70,12 \text{ kPa} \cdot \left(\frac{268,7 \text{ K}}{276,929 \text{ K}}\right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 63,094 \text{ kPa}$$

3. Menghitung tekanan udara aktual pada difuser

$$P_{01}^a = P_a - \eta_c (P_{01}^i - P_a) = 70,12 \text{ kPa} - 0,85 (63,094 \text{ kPa} - 70,12 \text{ kPa}) = 76,092 \text{ kPa}$$

4. Menghitung temperatur udara ideal pada kompresor tekanan rendah

$$T_{02}^i = T_{01} \cdot (r_{LPC})^{\frac{kc-1}{kc}} = 276,929 \text{ K} \cdot (4,912)^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 436,386 \text{ K}$$

5. Menghitung temperatur udara aktual pada kompresor tekanan rendah

$$T_{02}^a = T_{01} + \frac{T_{02}^i \cdot T_{01}}{\eta_c} = 276,929 \text{ K} + \left(\frac{436,386 \text{ K} - 276,929 \text{ K}}{0,85}\right) = 464,526 \text{ K}$$

6. Menghitung tekanan udara pada kompresor tekanan rendah

$$P_{02} = r_{LPC} \cdot P_{01}^a$$

$$= 4,912 \cdot 76,092 \text{ kPa} = 373,765 \text{ kPa}$$

7. Menghitung temperatur udara ideal pada kompresor tekanan tinggi

$$T_{03}^i = T_{02}^a \cdot (r_{HPC})^{\frac{kc-1}{kc}} = 464,526 \text{ K} \cdot (10,593)^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 911,743 \text{ K}$$

8. Menghitung temperatur udara aktual pada kompresor tekanan tinggi

$$T_{03}^a = \frac{T_{03}^i - T_{02}^a}{\eta_c} + T_{02}^a = \frac{911,743 \text{ K} - 464,526 \text{ K}}{0,85} + 464,526 \text{ K} = 990,664 \text{ K}$$

Dari tabel udara standar pada temperatur 990,664 K diperoleh $h_{03}^a = 1035 \text{ kJ/kg}$

9. Menghitung tekanan udara pada kompresor tekanan tinggi

$$P_{03} = r_{HPC} \cdot P_{02} = 10,593 \cdot 373,765 \text{ kPa} = 3959 \text{ kPa}$$

10. Menghitung *fuel/air ratio* aktual

Temperatur pada ruang bakar mengalami kenaikan sebesar $(1500 \text{ K} - 990,664 \text{ K}) = 509,336 \text{ K}$ dan temperatur yang memasuki ruang bakar sebesar 990,664 K, sehingga diperoleh *fuel/air ratio* ideal sebesar 0,0148.

$$f/a = \frac{f/a(\text{ideal})}{\eta_m} = \frac{0,0148}{0,99} = 0,015$$

11. Menghitung aliran massa bahan bakar ideal

$$\dot{m}_{bb} = \dot{m}_{udara} \cdot f/a = 307,082 \text{ kg/s} \cdot 0,015 = 4,591 \text{ kg/s}$$

12. Menghitung aliran massa fluida campuran ideal

$$\dot{m}_{gas} = \dot{m}_{udara} + \dot{m}_{bb} = 307,082 \text{ kg/s} + 4,591 \text{ kg/s} = 311,673 \text{ kg/s}$$

13. Menghitung aliran massa fluida campuran aktual

$$\dot{m}_h = \frac{\dot{m}_{gas}}{\frac{BPR+1}{5,5+1}} = \frac{311,673 \text{ kg/s}}{5,5+1} = 47,95 \text{ kg/s}$$

14. Menghitung jumlah kalor yang masuk pada ruang bakar

Dari tabel properti udara standar pada temperatur 1500 K diperoleh $h_{04} = 1636 \text{ kJ/kg}$

$$Q_{in} = \dot{m}_{gas} \cdot (h_{04} - h_{03}^a) \cdot \eta_{RB} = 47,95 \text{ kg/s} (1636 \text{ kJ/kg} - 1035 \text{ kJ/kg}) \cdot 0,99 = 28529,7705 \text{ kW}$$

15. Menghitung tekanan akhir pembakaran pada ruang bakar

$$P_{04} = P_{03} \cdot (1 - P_{LOSS}) = 3959 \text{ kPa} (1 - 0,06) = 3722 \text{ kPa}$$

16. Menghitung temperatur gas ideal pada turbin tekanan tinggi

$$T_{05}^i = \frac{T_{04}^a}{r_{HPT}^{\frac{kt-1}{kt}}} = \frac{1500 \text{ K}}{10,593^{\frac{1,333-1}{1,333}}} = 831,819 \text{ K}$$

17. Menghitung temperatur gas aktual pada turbin tekanan tinggi

$$T_{05}^a = T_{04}^a - (T_{04}^a - T_{05}^i)\eta_T$$

$$= 1500 \text{ K} - (1500 \text{ K} - 831,819 \text{ K}) \cdot 0,85$$

$$= 932,046 \text{ K}$$

18. Menghitung tekanan gas pada turbin tekanan tinggi

$$P_{05} = \frac{P_{04}}{r_{HPT}}$$

$$= \frac{3722 \text{ kPa}}{10,593} = 351,339 \text{ kPa}$$

19. Menghitung temperatur gas ideal pada turbin tekanan rendah

$$T_{06}^i = \frac{T_{05}^a}{r_{LPT}^{\frac{k-1}{k}}}$$

$$= \frac{932,046 \text{ K}}{4,912^{\frac{1,333-1}{1,333}}} = 626,257 \text{ K}$$

20. Menghitung temperatur gas aktual pada turbin tekanan rendah

$$T_{06}^a = T_{05}^a - (T_{05}^a - T_{06}^i)\eta_T$$

$$= 932,046 \text{ K} - (932,046 \text{ K} - 626,257 \text{ K}) \cdot 0,85$$

$$= 672,125 \text{ K}$$

21. Menghitung tekanan gas pada turbin tekanan rendah

$$P_{06} = \frac{P_{05}}{r_{LPT}}$$

$$= \frac{351,339 \text{ kPa}}{4,912} = 71,527 \text{ kPa}$$

22. Menghitung kecepatan yang dihasilkan mesin

$$V_{07} = \sqrt{2C_{pg}(T_{06}^a - T_a)}$$

$$= \sqrt{2 \cdot 1,148 \text{ kJ/kg K} (672,125 \text{ K} - 268,7 \text{ K}) \left(\frac{1000 \text{ m}^2}{\text{kg}}\right)}$$

$$= 962,426 \text{ m/s}$$

23. Menghitung gaya dorong yang dihasilkan mesin

$$F_h = \dot{m}_h(V_{07} - V_a)$$

$$= 47,95 \text{ kg/s} (962,426 \text{ m/s} - 128,611 \text{ m/s})$$

$$= 39980 \text{ N}$$

24. Menghitung penurunan temperatur pada nosel bypass

$$T_{02} - T_{08} = \eta_j \cdot T_{02}^a \left(1 - \left(\frac{P_{02}^a}{P_a}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right)$$

$$= 0,95 \cdot 464,526 \text{ K} \left(1 - \left(\frac{373,765 \text{ kPa}}{70,12 \text{ kPa}}\right)^{\frac{1,4-1}{1,4}}\right)$$

$$= 167,717 \text{ K}$$

25. Menghitung kecepatan yang dihasilkan bypass

$$V_{08} = \sqrt{2C_p(T_{02} - T_{08})}$$

$$= \sqrt{2 \cdot 100,5 \text{ kJ/kg K} (167,717 \text{ K}) \left(\frac{1000 \text{ m}^2/\text{s}^2}{\text{kJ/kg}}\right)}$$

$$= 580,612 \text{ m/s}$$

26. Menghitung aliran massa udara pada bypass

$$\dot{m}_c = \frac{\dot{m}_{udara} \cdot BPR}{BPR+1}$$

$$= \frac{307,082 \text{ kg/s} \cdot 5,5}{5,5+1} = 259,839 \text{ kg/s}$$

27. Menghitung gaya dorong yang dihasilkan bypass

$$F_c = \dot{m}_c(V_{08} - V_a)$$

$$= 259,839 \text{ kg/s} (580,612 \text{ m/s} - 128,611 \text{ m/s})$$

$$= 117400 \text{ N}$$

28. Menghitung gaya dorong keseluruhan

$$F_n = F_h + F_c$$

$$= 39980 \text{ N} + 117400 \text{ N} = 157400 \text{ N}$$

29. Menghitung daya dorong yang dihasilkan mesin

$$W_h = F_h \cdot V_{aircraft}$$

$$= 39980 \text{ N} \cdot 128,611 \text{ m/s}$$

$$= 5141867,78 \text{ W}$$

$$= 5141,86778 \text{ kW}$$

30. Menghitung daya dorong yang dihasilkan bypass

$$W_c = F_c \cdot V_{aircraft}$$

$$= 117400 \text{ N} \cdot 128,611 \text{ m/s}$$

$$= 15098931,4 \text{ W}$$

$$= 15098,9314 \text{ kW}$$

31. Menghitung daya dorong keseluruhan

$$W_n = W_h + W_c$$

$$= 5141,86778 \text{ kW} + 15098,9314 \text{ kW}$$

$$= 20240,7992 \text{ kW}$$

32. Menghitung efisiensi propulsi

$$\eta_{propulsi} = \frac{W_n}{Q_{in}}$$

$$= \frac{20240,7992 \text{ kW}}{28529,7705 \text{ kW}} = 0,709$$

33. Menghitung aliran massa bahan bakar aktual

$$\dot{m}_f = f/a \cdot \dot{m}_h \cdot 3600$$

$$= 0,015 \cdot 47,95 \text{ kg/s} \cdot 3600 = 2581 \text{ kg/h}$$

34. Menghitung konsumsi bahan bakar spesifik

$$TSFC = \frac{\dot{m}_f}{F_n}$$

$$= \frac{2581 \text{ kg/h}}{157400 \text{ N}} = 0,016 \text{ kg/h N}$$

Setelah dilakukan perhitungan menggunakan beberapa variabel, maka didapatkan hasil perhitungan dari nilai gaya dorong, efisiensi propulsi, dan TSFC yang akan ditampilkan pada tabel 3 sebagai berikut:

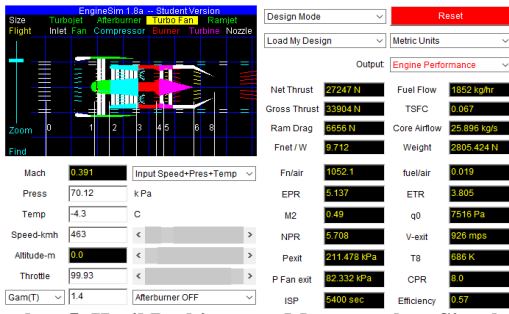
Tabel 3. Hasil Perhitungan Teoritis

Temperatur; Tekanan	Gaya Dorong	Efisiensi Propulsi	TSFC
268,7 K ; 70,12 kPa	157400 N	0,709	0,016
262,2 K ; 61,66 kPa	156100 N	0,674	0,017
255,7 K ; 54,05 kPa	154800 N	0,641	0,018
249,2 K ; 47,22 kPa	153400 N	0,61	0,019
242,7 K ; 41,44 kPa	15200 N	0,582	0,02

4.3. Perhitungan Unjuk Kerja Mesin Menggunakan Simulator

4.3.1. Pada Temperatur 268,7 K dan Tekanan 0,7012 bar

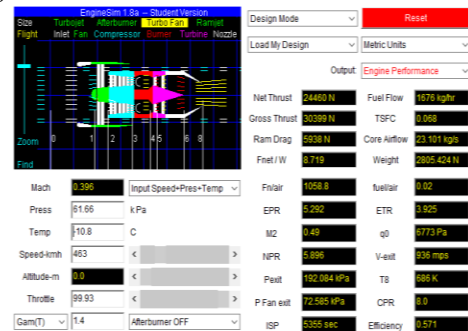
Data yang dimasukkan ke dalam perhitungan pada simulator adalah pada kondisi temperatur 268,7 K (-4,3 C) dengan tekanan 0,7012 bar (70,12 kPa) dan kecepatan yang diatur stabil pada 463 kilometer per jam.



Gambar 5. Hasil Perhitungan Menggunakan Simulator pada Temperatur 268,7 K dan Tekanan 0,7012 bar

4.3.2. Pada Temperatur 262,2 K dan Tekanan 0,6166 bar

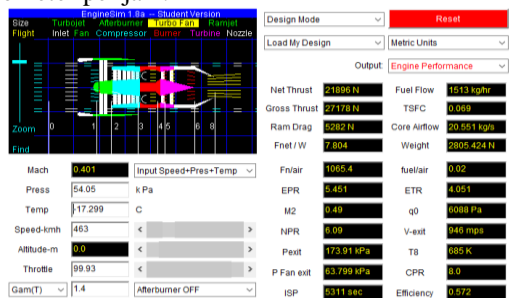
Data yang dimasukkan ke dalam perhitungan pada simulator adalah pada kondisi temperatur 262,2 K (-10,8 C) dengan tekanan 0,6166 bar (61,66 kPa) dan kecepatan yang diatur stabil pada 463 kilometer per jam.



Gambar 6. Hasil Perhitungan Menggunakan Simulator pada Temperatur 262,2 K dan Tekanan 0,6166 bar

4.3.3. Pada Temperatur 255,7 K dan Tekanan 0,5405 bar

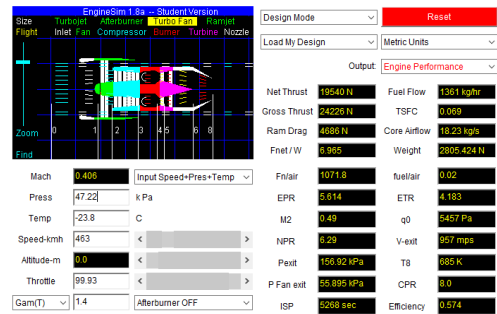
Data yang dimasukkan ke dalam perhitungan pada simulator adalah pada kondisi temperatur 255,7 K (-17,299 C) dengan tekanan 0,5405 bar (54,05 kPa) dan kecepatan yang diatur stabil pada 463 kilometer per jam.



Gambar 7. Hasil Perhitungan Menggunakan Simulator pada Temperatur 255,7 K dan Tekanan 0,5405 bar

4.3.4. Pada Temperatur 249,2 K dan Tekanan 0,4722 bar

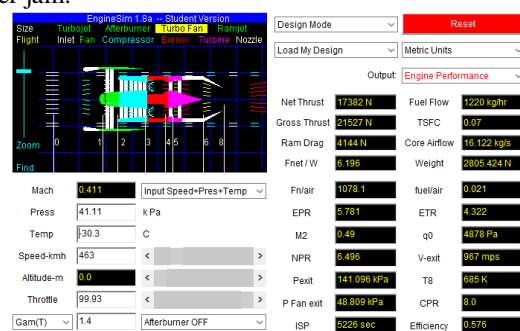
Data yang dimasukkan ke dalam perhitungan pada simulator adalah pada kondisi temperatur 249,2 K (-23,8 C) dengan tekanan 0,4722 bar (47,22 kPa) dan kecepatan yang diatur stabil pada 463 kilometer per jam.



Gambar 8. Hasil Perhitungan Menggunakan Simulator pada Temperatur 249,2 K dan Tekanan 0,4722 bar

4.3.5. Pada Temperatur 242,7 K dan Tekanan 0,4111 bar

Data yang dimasukkan ke dalam perhitungan pada simulator adalah pada kondisi temperatur 242,7 K (-30,1 C) dengan tekanan 0,4111 bar (41,11 kPa) dan kecepatan yang diatur stabil pada 463 kilometer per jam.



Gambar 9. Hasil Perhitungan Menggunakan Simulator pada Temperatur 242,7 K dan Tekanan 0,4111 bar

4.4. Grafik Hubungan Antara Hasil Perhitungan Teoritis dan Simulator

Setelah dilakukan pengolahan data seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, maka akan diperoleh perbandingan hasil perhitungan teoritis dengan simulator yang akan ditampilkan melalui tabel dan grafik.

Tabel 4. Perbandingan Nilai Gaya Dorong Teoritis dengan Simulator

Temperatur Tekanan	Teoritis	Simulator
268,7 K ; 0,7012 bar	157400	33904
262,2 K ; 0,6166 bar	156100	30399
255,7 K ; 0,5404 bar	154800	27178
249,2 K ; 0,4722 bar	153400	24226
242,7 K ; 0,4111 bar	152000	21527

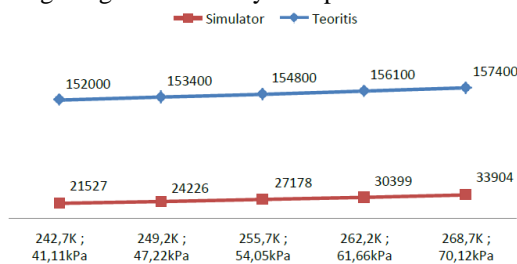
Tabel 5. Perbandingan Nilai Efisiensi Propulsi Teoritis dengan Simulator

Temperatur ; Tekanan	Teoritis	Simulator
268,7 K ; 0,7012 bar	0,709	0,57
262,2 K ; 0,6166 bar	0,674	0,571
255,7 K ; 0,5404 bar	0,641	0,572
249,2 K ; 0,4722 bar	0,61	0,574
242,7 K ; 0,4111 bar	0,582	0,576

Tabel 5. Perbandingan Nilai *TSFC* Teoritis dengan Simulator

Temperatur ; Tekanan	Teoritis	Simulator
268,7 K ; 0,7012 bar	0,016	0,067
262,2 K ; 0,6166 bar	0,017	0,068
255,7 K ; 0,5404 bar	0,018	0,069
249,2 K ; 0,4722 bar	0,019	0,069
242,7 K ; 0,4111 bar	0,02	0,07

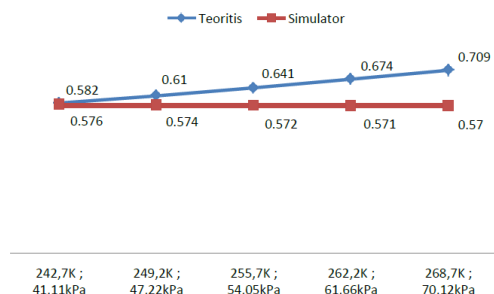
Dari data perbandingan hasil perhitungan teoritis dengan simulator pada Tabel 3 – Tabel 5, maka dibuatkan grafik perbandingan seperti pada Gambar 10 untuk nilai gaya dorong, Gambar 11 untuk nilai efisiensi propulsi, dan Gambar 12 untuk nilai *TSFC*. Dilihat pada Gambar 10, gaya dorong yang dihasilkan mesin menurun seiring dengan menurunnya temperatur dan tekanan. Pada Gambar 11 efisiensi propulsi secara teoritis akan menurun seiring menurunnya temperatur dan tekanan, namun pada simulator hasilnya meningkat seiring dengan menurunnya temperatur dan tekanan. Sedangkan pada Gambar 12, *TSFC* pada mesin akan bertambah seiring dengan menurunnya temperatur dan tekanan.



Keterangan: Satuan Newton (N)

Gambar 10. Grafik Hubungan Nilai Gaya Dorong Teoritis dan Simulator

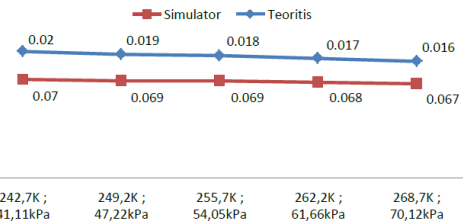
Dari Gambar 10, dapat dilihat bahwa nilai gaya dorong pada kedua perhitungan menurun seiring dengan menurunnya temperatur dan tekanan. Hal ini disebabkan oleh karena semakin rendah temperatur dan tekanan maka kerapatan udara menurun dan jumlah molekul di udara semakin sedikit, sehingga menghasilkan gaya dorong yang semakin rendah.



Gambar 11. Grafik Hubungan Nilai Efisiensi Propulsi Teoritis dan Simulator

Dari Gambar 11 dilihat bahwa nilai dari efisiensi propulsi pada kedua perhitungan terjadi perbedaan. Pada hasil perhitungan teoritis hasilnya menurun yang disebabkan oleh karena nilai daya dorong yang semakin menurun seiringnya menurunnya temperatur dan tekanan serta bertambahnya jumlah

kalor yang masuk pada ruang pembakaran. Pada hasil perhitungan menggunakan simulator hasilnya meningkat seiring dengan menurunnya temperatur dan tekanan, hal ini disebabkan karena pada simulator hanya memasukkan data temperatur dan tekanan, sehingga tidak diketahui secara pasti aliran udara yang masuk baik ke dalam mesin maupun ke dalam ruang pembakaran.



Gambar 12. Grafik Hubungan Nilai *TSFC* Teoritis dan Simulator

Dari Gambar 12 dilihat bahwa nilai dari *TSFC* pada kedua perhitungan mengalami kenaikan terhadap temperatur dan tekanan yang semakin rendah. Hal ini disebabkan oleh karena aliran massa bahan bakar yang semakin meningkat serta berkurangnya nilai gaya dorong seiring dengan menurunnya temperatur dan tekanan.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan pengolahan data, dapat disimpulkan bahwa semakin menurun temperatur dan tekanan, maka gaya dorong yang dihasilkan mesin cenderung menurun, efisiensi propulsi yang dihasilkan mesin menurun, serta *TSFC* pada mesin akan mengalami kenaikan.

Daftar Pustaka

- [1] Handoko, 2003, *Klimatologi Dasar*, Bogor: Pustaka Jaya.
- [2] I. Saragih, B. Yonas, and N. Rinaldy, 2017, *Studi Pengaruh Suhu dan Tekanan Udara Terhadap Operasi Penerbangan di Bandara Internasional Kualanam*.
- [3] A. Fadholi, 2013, *Studi Pengaruh Suhu Dan Tekanan Udara Terhadap Daya Angkat Pesawat Di Bandara S. Babullah Ternate*.
- [4] Soepangkat, 1992, *Pengantar Meteorologi*, Jakarta: Badan Diklat Meteorologi dan Geofisika,.
- [5] National Aeronautics and Space Administration, 2015, *Turbofan Engine*, www.grc.nasa.gov, [Online]. Available: <https://www.grc.nasa.gov/WWW/K-12/airplane/aturbf.html>. [Accessed: 26-Sep-2019].
- [6] Y. A. Cengel and M. A. Boles, 2006, *Thermodynamics*, Fifth. Singapore: McGraw-

Hill.

- [7] National Aeronautics and Space Administration, 2014, *EngineSim and RangeGames*Download, www.grc.nasa.gov, [Online]. Available: <https://www.grc.nasa.gov/WWW/K12/Enginesim/index.htm>. [Accessed: 26-Sep-2019].



Arum Amalia menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana, Program Studi Teknik Mesin, pada tahun 2020

Bidang penelitian yang menjadi konsentrasi adalah topik pembahasan konversi energi

Visualisasi Pola Aliran di Sekitar Katup Limbah Pompa Hidram pada Variasi Kemiringan Badan Katup Pengantar

Keeya Shafira Gema, Made Suarda, Ainul Ghurri

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Pompa hidram merupakan jenis pompa yang bekerja tanpa penggunaan energi tambahan—seperti bahan bakar dan energi listrik—melainkan hanya bekerja dengan memanfaatkan ketinggian jatuhnya dari suatu sumber air serta fenomena *water hammer*. Hal tersebut tentu menjadikan peran aliran air serta komponen-komponen pada pompa hidram itu sendiri menjadi sangat krusial dalam pengoperasiannya, khususnya katup limbah dan katup pengantar pompa hidram.

Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada pengamatan pengaruh variasi kemiringan badan katup pengantar dengan variasi 15°, 30° dan 45° terhadap karakteristik aliran khususnya di sekitar katup limbah, serta pengaruhnya terhadap karakteristik pompa hidram. Kurangnya penelitian yang membahas secara spesifik mengenai karakteristik aliran di dalam pompa hidram menjadi dasar penelitian ini untuk menggunakan pompa hidram berbahan dasar akrilik berwarna transparan. Penelitian dilakukan menggunakan dua metode; metode pengujian eksperimen dengan menggunakan kamera dengan rasio bingkai tinggi (*high frame rate camera*) serta bantuan perangkat lunak *Tracker*, kemudian metode pengujian pemodelan simulasi menggunakan perangkat lunak *Ansys Fluent* dengan pengaturan *boundary condition* pada *velocity inlet* dan *outlet*.

Hasil penelitian secara eksperimen dan simulasi menunjukkan bahwa kemiringan badan katup pengantar berpengaruh terhadap karakteristik aliran di sekitar katup limbah serta berpengaruh pula pada karakteristik pompa, dimana katup pengantar dengan kemiringan badan sebesar 45° menghasilkan pemompaan yang paling besar di antara kedua variasi lainnya.

Kata kunci: Pompa hidram; visualisasi pola aliran; katup limbah; kemiringan badan katup pengantar.

Abstract

Hydraulic ram pump is a type of pump that operates without the need of external additional energy—such as fuel and electricity—but instead it utilises the head of a water source and the water hammer effect. This makes the hydraulic ram pump's components itself crucial to its operation and overall performance. This study focuses on observing the flow characteristics inside the hydraulic ram pump, around the waste valve to be exact and the hydraulic ram's characteristics itself using various angled delivery valve bodies of 15°, 30° and 45°.

Considering the lack of studies about the flow pattern inside a hydraulic ram pump, this study uses a transparent acrylic-based hydraulic ram pump to better observe the flow pattern and the flow velocity inside the hydraulic ram pump. This study uses two methods of which are; experimental study by capturing the water flow using a high frame rate camera with the help of a computer software called *Tracker*, and through simulation modeling using the help of *Ansys Fluent* using *velocity inlet* and *outlet* as the boundary condition.

This study shows results that angled delivery valve bodies affect not only the flow characteristics particularly around the waste valve but also the hydraulic ram pump's characteristics itself, whereas the bigger the angle of the delivery valve body the bigger the delivery rate. This study shows that the best delivery rate was obtained through the 45° angled delivery valve body.

Key words: Hydraulic ram pump; flow pattern visualisation; waste valve; angled delivery valve bodies.

1. Pendahuluan

Pompa hidraulik ram—selanjutnya disebut pompa hidram—merupakan pompa air sederhana yang dalam pengoperasiannya hanya memanfaatkan energi potensial dari jatuhnya air serta fenomena *water hammer* [1]. Pengoperasian pompa hidram terbagi menjadi empat langkah kerja; akselerasi, kompresi, pemompaan dan *recoil*. Pada langkah kompresi katup limbah akan menutup secara tiba-tiba sehingga menghasilkan fenomena *water hammer*, dimana ketika air mengalami perubahan momentum massa fluida dan kemudian berimbas pada peningkatan tekanan [2], hal inilah yang dimanfaatkan untuk memindahkan air dari suatu tempat ke tempat lainnya. Dengan demikian peran katup limbah dan katup pengantar menjadi sangat penting dalam proses keberlangsungan siklus kerja pada pompa hidram.

Pentingnya peran katup limbah dan katup pengantar ini menjadi landasan untuk penelitian lebih lanjut mengenai pompa hidram, salah satunya dengan mengkaji karakteristik aliran pompa hidram serta unjuk kerja pompa hidram dengan memvariasikan kemiringan badan katup pengantar. Penelitian mengenai karakteristik aliran di dalam pompa hidram masih jarang dilakukan, dikarenakan bahan pompa hidram yang biasanya terbuat dari bahan baja ataupun PVC. Untuk itu dalam penelitian ini digunakan pompa hidram yang terbuat dari bahan akrilik berwarna transparan, sehingga karakteristik alirannya dapat diamati dengan lebih jelas.

Berdasarkan latar belakang di atas, permasalahan yang akan dikaji pada penelitian ini di antaranya adalah meneliti pengaruh variasi kemiringan badan katup pengantar terhadap

karakteristik aliran di sekitar katup limbah pompa hidram serta unjuk kerja pompa hidram.

Beberapa batasan yang ditetapkan di dalam penelitian ini adalah:

1. Aliran air pada saat pengambilan data diasumsikan sebagai aliran *steady flow* dan *steady flow*.
2. Keadaan di lingkungan diasumsikan konstan.

2. Dasar Teori

Parameter yang berperan penting dalam performansi pompa hidram di antaranya adalah; debit dari penampungan air, debit hasil pemompaan, kombinasi panjang langkah katup, massa katup, volume tabung udara [3] dan masih banyak lainnya. Seperti pada sebuah penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, panjang langkah katup limbah juga berpengaruh pada peningkatan efisiensi [4]. Pada penelitian lain menunjukkan bahwa katup limbah dengan massa yang berat akan memungkinkan air untuk mengalir lebih cepat, sehingga semakin cepat pula katup limbah tertutup menyebabkan lonjakan tekanan yang besar dan berimbas kepada *head* pemompaan yang lebih baik [5]. Selain katup limbah, variasi bentuk katup pengantar pun berpengaruh terhadap unjuk kerja pompa hidram, penelitian lain telah dilakukan terhadap berbagai macam bentuk katup pengantar seperti bentuk pelat, bola dan juga peluru [6].

Pada penelitian ini digunakan variasi kemiringan badan katup pengantar untuk dilihat pengaruhnya terhadap karakteristik aliran yang terjadi di dalam pompa hidram serta terhadap unjuknyanya.

3. Metode Penelitian

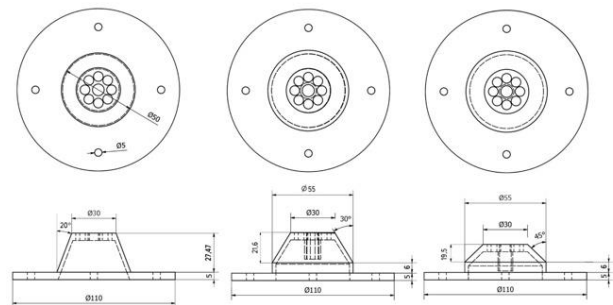
Metode penelitian yang dilakukan adalah dengan membandingkan dua hasil pengujian; pengujian eksperimen dan pengujian simulasi. Pengujian eksperimen dilakukan dengan penambahan glitter tiga warna ke dalam aliran sebagai media untuk memudahkan proses pengamatan pola dan karakteristik aliran air. Pola aliran kemudian direkam menggunakan kamera dengan pengaturan rasio bingkai tinggi (*high frame rate camera*) pada mode gerak lambat (*slow motion mode*), kemudian hasil rekaman video tersebut dikonversi menjadi bingkai gambar terpisah, sehingga jejak pergerakan partikel glitter dapat diikuti dan diamati pola pergerakannya.

Alat dan bahan yang digunakan pada pengujian eksperimen adalah sebagai berikut:

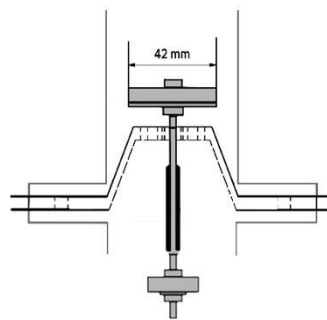
1. Kamera Sony RX 100 IV 960 fps.
2. Laptop yang sudah dilengkapi dengan perangkat lunak *Tracker* dan *Fiji-ImageJ*.
3. *Tool kit*.
4. *Stopwatch*.
5. Jangka sorong.
6. Timbangan.
7. Penggaris berwarna bening.

8. Alat suntik pewarna.
9. Pompa hidram berbahan akrilik.
10. Variasi kemiringan badan katup pengantar 15°, 30° dan 45°.
11. Air bersih.
12. Glitter tiga warna; merah, biru, hijau.

Gambar 1 menunjukkan ketiga desain dan dimensi badan katup pengantar yang digunakan sebagai variasi. Gambar 2 menunjukkan skema katup pengantar yang terpasang menggunakan badan katup pengantar pada kemiringan 15°.



Gambar 1. Detail variasi kemiringan badan katup pengantar



Gambar 2. Skema katup pengantar dengan badan katup pengantar kemiringan 15°

Setelah dilakukan pengujian eksperimen, tahapan selanjutnya adalah pelaksanaan pengujian simulasi. Pemodelan simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak simulasi *Ansys Fluent*.

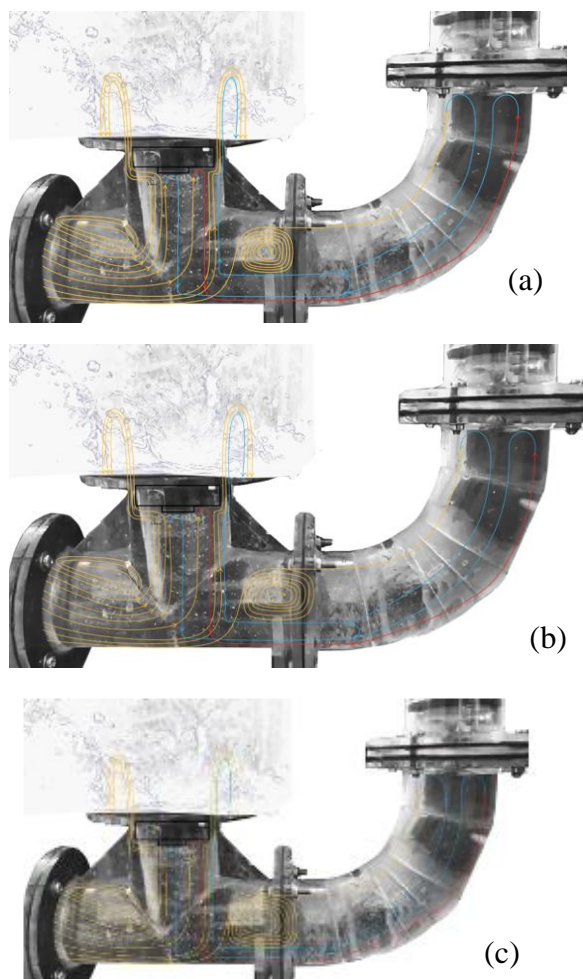
4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Visualisasi Pola Aliran

4.1.2 Akselerasi

Pada langkah akselerasi aliran air bergerak memasuki badan pompa, terlihat pula terbentuknya sirkulasi sesaat setelah aliran memasuki badan pompa (keduanya ditunjukkan dengan panah berwarna kuning). Karena katup limbah dalam keadaan terbuka, sehingga sebagian aliran akan terbuang keluar melalui celah di antara katup limbah. Kemudian dapat dilihat bahwa sebagian aliran lainnya akan berbalik arah akibat kontak dengan dinding katup limbah (ditunjukkan dengan panah berwarna biru dan warna merah); panah berwarna biru secara spesifik menunjukkan aliran yang terpantul kembali memasuki badan pompa kemudian terbuang keluar melewati katup limbah dan panah

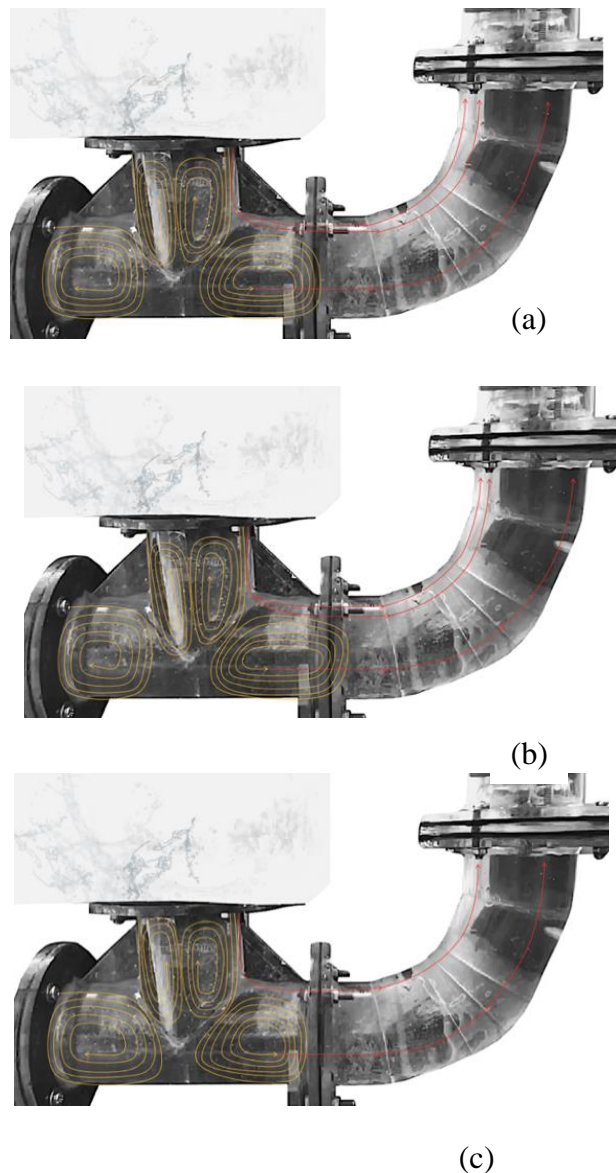
berwarna merah secara spesifik menunjukkan aliran yang terpantul kembali keluar dari badan pompa dan bergerak menuju katup pengantar.



Gambar 2. Pola aliran langkah akselerasi hasil eksperimen pada kemiringan badan katup pengantar (a) 15° (b) 30° (c) 45°

4.1.3 Kompresi

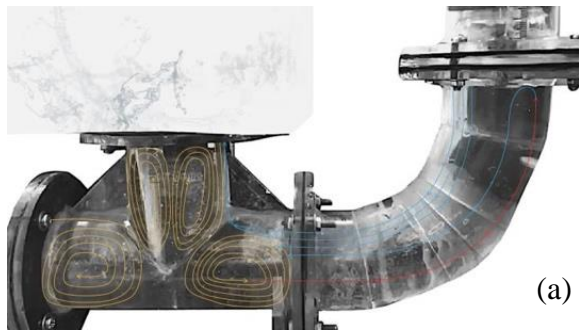
Tertutupnya katup limbah secara mendadak menciptakan fenomena *water hammer* yang sangat besar. Pada gambar hasil eksperimen, seperti yang telah disajikan pada Gambar 4 (a), (b) dan (c) terlihat bahwa *shockwave* tersebut mengakibatkan sirkulasi yang terjadi di seluruh bagian badan pompa (ditunjukkan dengan panah berwarna kuning), sehingga aliran di seluruh badan pompa bergerak acak menyebar ke segala arah. Setelah beberapa saat, terlihat pula adanya partikel glitter yang bergerak menuju pipa pengantar (ditunjukkan menggunakan panah berwarna merah).



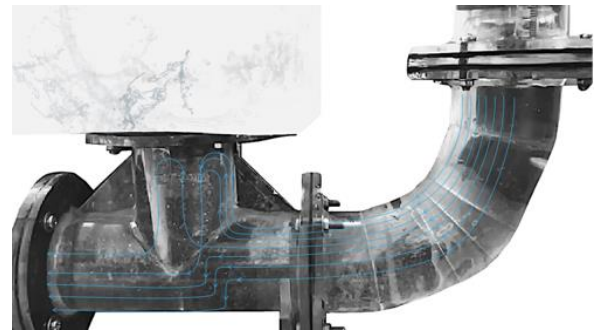
Gambar 4. Pola aliran langkah kompresi hasil eksperimen pada kemiringan badan katup pengantar (a) 15° (b) 30° (c) 45°

4.1.4 Pemompaan

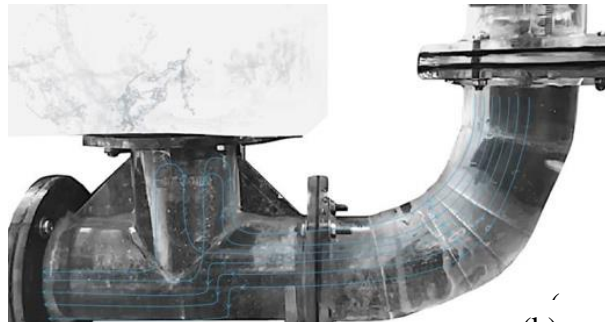
Pada gambar hasil eksperimen yang disajikan pada Gambar 4.5 (a), (b) dan (c), terlihat sirkulasi aliran yang bergerak acak di dalam badan pompa (ditunjukkan dengan panah berwarna kuning) masih terbentuk. Sirkulasi yang terjadi khususnya di bawah katup limbah kemudian akan mendorong aliran bergerak menuju pipa (ditunjukkan dengan panah berwarna merah), yang membedakan dari langkah sebelumnya yaitu aliran balik yang terpantul katup pengantar semakin jelas terlihat kembali memasuki badan pompa (ditunjukkan dengan panah berwarna biru).



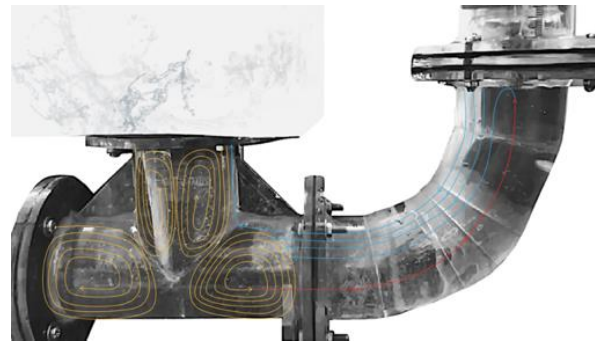
(a)



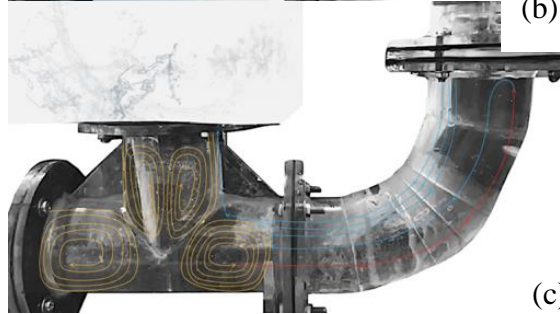
(b)



(b)



(c)

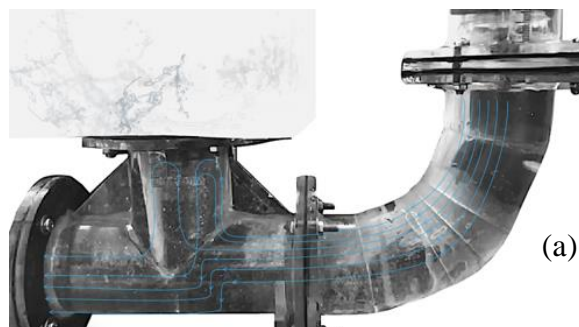


(c)

Gambar 6. Pola aliran langkah pemompaan hasil eksperimen pada kemiringan badan katup pengantar (a) 15° (b) 30° (c) 45°

4.1.5 Recoil

Pola aliran hasil eksperimen yang ditunjukkan pada Gambar 4.7 (a), (b) dan (c). Karena kedua katup dalam keadaan tertutup, maka aliran mengalami fenomena *backflow* atau berbaliknya arah aliran dari katup pengantar mengarah menuju badan pompa hingga ke pipa penggerak.

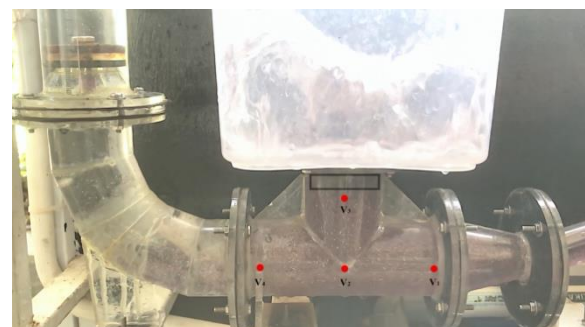


(a)

Gambar 8. Pola aliran langkah recoil hasil eksperimen pada kemiringan badan katup pengantar (a) 15° (b) 30° (c) 45°

4.2 Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran diambil sesaat setelah katup limbah kembali terbuka, tepatnya pada langkah akselerasi. Perhitungan kecepatan aliran di sekitar katup limbah dilakukan pada 4 titik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10 di bawah. Data kecepatan disajikan pada Tabel 1.

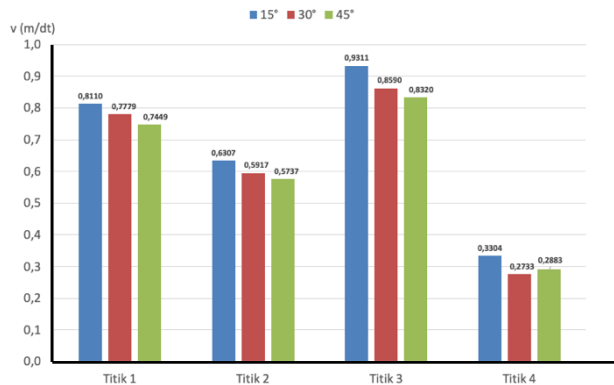


Gambar 10. Titik-titik kecepatan aliran pada pompa hidram

Tabel 1. Kecepatan aliran di sekitar katup limbah

Kecepatan di-	Variasi 15°	Variasi 30°	Variasi 45°
Titik 1	0,81095742	0,77791841	0,7448794
Titik 2	0,63074466	0,59169856	0,57367728
Titik 3	0,93109926	0,85901415	0,83198224
Titik 4	0,33039006	0,27332268	0,28834041

Nilai kecepatan yang ada pada Tabel 1 kemudian diubah ke dalam bentuk grafik batang seperti pada Gambar 11 di bawah. Dapat dilihat bahwa terjadi tren penurunan kecepatan seiring dengan bertambah besarnya kemiringan badan katup pengantar.

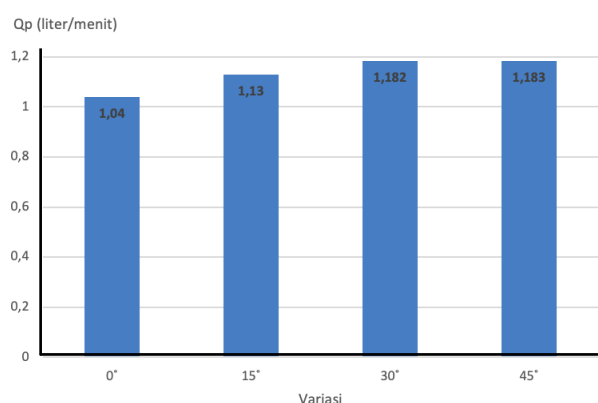


Gambar 11. Kurva kecepatan aliran saat langkah akselerasi

4.3 Unjuk Kerja Pompa Hidram

4.3.1 Debit Pemompaan

Hasil perhitungan debit pemompaan dilakukan sebanyak sepuluh kali pengulangan dan kemudian dirata-ratakan. Nilai rata-rata kemudian disajikan dalam bentuk grafik batang pada Gambar 12 di bawah. Grafik tersebut mengindikasikan bahwa semakin besar kemiringan badan katup pengantar, maka semakin besar pula debit pemompaan yang dihasilkan. Debit pemompaan terendah didapatkan pada variasi kemiringan badan katup pengantar 0° (badan katup pelat datar) yaitu sebesar rata-rata 1,04 liter/menit. Sementara debit pemompaan tertinggi didapatkan pada variasi kemiringan badan katup pengantar 45° yaitu sebesar rata-rata 1,183 liter/menit.

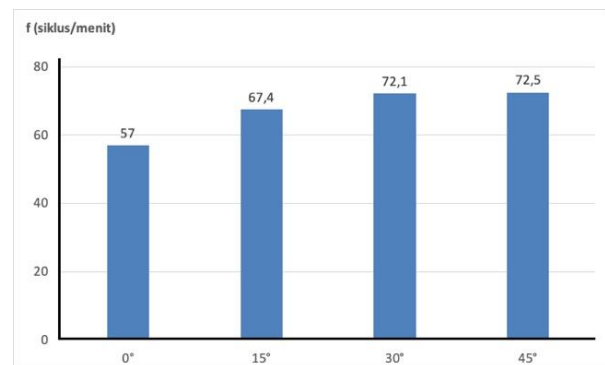


Gambar 12. Grafik debit pemompaan terhadap kemiringan badan katup pengantar

4.3.2 Frekuensi Siklus Pompa Hidram

Hasil perhitungan frekuensi satu siklus pompa hidram selama satu menit dilakukan sebanyak sepuluh kali pengulangan dan kemudian dirata-ratakan. Nilai rata-rata kemudian disajikan dalam

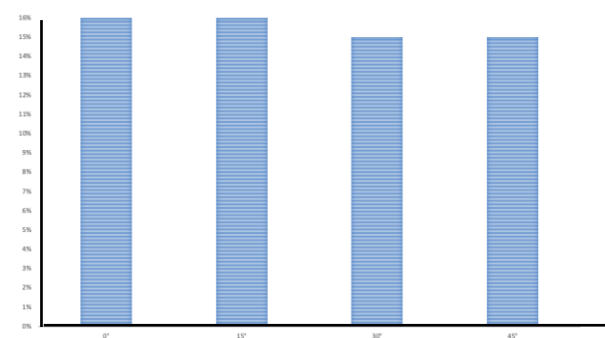
bentuk grafik batang seperti pada Gambar 13 di bawah. Grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin besar kemiringan badan katup pengantar, semakin banyak pula frekuensi siklus pompa hidram dalam satu menitnya. Frekuensi siklus pompa hidram terendah didapatkan pada variasi kemiringan badan katup pengantar 0° (badan katup pengantar pelat datar) sebesar rata-rata 57 siklus/menit. Sementara frekuensi pompa hidram tertinggi didapatkan pada variasi kemiringan badan katup pengantar 45° sebesar rata-rata 72,5 siklus/menit.



Gambar 13. Grafik frekuensi satu siklus pompa hidram

4.3.2 Efisiensi Pompa Hidram

Efisiensi volumetris pompa hidram didapatkan menggunakan rumus dari D'aubusson. Data efisiensi volumetris pompa hidram dengan variasi kemiringan badan katup pengantar disajikan pada Gambar 14. Pompa hidram yang menggunakan badan katup pengantar dengan kemiringan 0° dan 15° memiliki nilai efisiensi sebesar 16%. Sementara pompa hidram yang menggunakan badan katup pengantar dengan kemiringan 30° dan 45° memiliki nilai efisiensi sebesar 15%.



Gambar 14. Grafik performansi pompa hidram terhadap kemiringan badan katup pengantar

5. Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian eksperimen terhadap visualisasi pola aliran pada pompa hidram khususnya di sekitar katup limbah didapatkan hasil bahwa kemiringan badan katup pengantar berpengaruh terhadap karakteristik aliran di dalam pompa hidram khususnya di sekitar katup limbah. Semakin besar kemiringan badan katup pengantar,

maka semakin besar ukuran sirkulasi yang terbentuk di sekitar katup limbah khususnya pada saat langkah kompresi dan pemompaan. Selain itu, terlihat pula bahwa semakin besar kemiringan badan katup pengantar semakin rendah kecepatan aliran yang terjadi di sekitar katup limbah. Pada pengujian eksperimen mengenai unjuk kerja pompa hidram, didapatkan hasil bahwa pompa hidram menghasilkan frekuensi siklus pompa hidram terbanyak pada pompa hidram dengan badan katup pengantar dengan 45° yaitu sebesar 72,5 siklus/menit. Debit pemompaan terbesar dihasilkan pada pompa hidram dengan badan katup pengantar 45° yaitu sebesar 1,183 liter/menit.

Daftar Pustaka

- [1] Utomo, G. P., Supardi, dan Santoso E., 2015, *Analisa Pengaruh Tinggi Jatuhan Air terhadap Head Pompa Hidram*, Jurnal Pengabdian LPPM Untag Surabaya, Vol. 01, No. 02, pp. 211-244
- [2] Suarda, M., dan Wirawan, I K.G., 2008, *Kajian Eksperimental Pengaruh Tabung Udara pada Head Tekanan Pompa Hidram*, Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CakraM. Vol. 2, No. 1, pp. 10-14.
- [3] Pathak, A., Deo, A., Khune, S., Mehroliya, S., dan Pawar, M.M. , 2016, *Design of Hydraulic Ram Pump*. IJIRST International Journal for Innovative, Research in Science & Technology. Vol. 2, No. 10, pp. 290-293.
- [4] Inversin, A.R., 1978, *The Construction of a Hydraulic Ram Pump*. Papua New Guinea: South Pacific Appropriate Technology Foundation.
- [5] Laksana, K.B., Suarda, M., Ghurri, A. *Pengaruh Diamete Piringan Katup Limbah Terhadap Tekanan Aliran Balik dalam Pompa Hidram*, Jurnal Ilmiah Nasional dalam Bidang Ilmu Teknik Mesin. Vol. 5, No. 2, pp. 1-7.
- [6] Suarda, M., dan Sukadana, I K.G. 2013, *Perancangan dan Pengujian Unjuk Kerja Katup Tekan Pompa Hydram Model Plat, Membran, Bola dan Setengah-Bola*. Prosiding: Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM – XII), Bandar Lampung, 22-23 Oktober, pp. 387 - 394.



Foto close-up

Keeya Shafira Gema
menyelesaikan program studi sarjana di jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana pada tahun 2020.

Bidang penelitian yang diminati adalah mengenai pompa hidram dan topik-topik yang berkaitan dengan mekanika fluida.

Visualisasi Pola Aliran di Sekitar Katup Pengantar Pompa Hidram dengan Variasi Kemiringan Badan Katup Pengantar

Tasya Lifa Tampubolon, Made Suarda dan Ainul Ghurri

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Saat ini detail pola aliran di setiap tahapan siklus kerja pompa hidram dengan material baja atau PVC belum dapat digambarkan dengan tepat melalui eksperimen. Sehingga penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik aliran yaitu pola aliran dan kecepatan aliran di sekitar katup pengantar pada pompa hidram dengan material akrilik dan air sebagai fluida kerjanya dengan variasi kemiringan badan katup pengantar sebesar 15°, 30° dan 45°. Penelitian menggunakan metode eksperimen dan metode simulasi numerik dengan software ansys. Penelitian eksperimen dilakukan dengan merekam menggunakan kamera berkecepatan tinggi yaitu 960 fps dan menyemprotkan glitter lalu didapatkan hasil gambar slow motion untuk selanjutnya dianalisa karakteristik alirannya. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa kemiringan badan katup pengantar mempengaruhi karakteristik aliran yang terjadi di sekitar katup pengantar. Kemiringan badan katup sebesar 30° memiliki kecepatan aliran yang paling rendah rendah saat siklus pemompaan dari dua variasi lainnya. Kemiringan badan katup 15° menghasilkan warna vektor yang lebih hijau dari kemiringan 45°, berarti kecepatan di sekitar badan katup pengantar paling tinggi dimiliki oleh kemiringan 15°. Serta kemiringan badan katup pengantar sebesar 45° merupakan kemiringan yang menghasilkan lebih banyak debit pemompaan.

Kata kunci : pompa hidram; katup pengantar; pola aliran

Abstract

Detailed current flow patterns in each stage of the working cycle of the pump hidram with material steel or PVC can not be described appropriately through experiments. So in this research was conducted to determine the characteristics of the flow, namely the flow pattern and the speed of the flow around the delivery valve on hidram pump with the material of acrylic and water as working fluid with the variation of the slope of the valve body introduction by 15, 30 and 45. Research using experimental method and numerical simulation method with software ansys. Research experiments carried out by recording using a high-speed camera that is 960 fps and spray glitter and then the obtained results pictures slow motion for further analysis of its flow characteristics. The results of the study showed that the slope of the delivery valve body affect the flow characteristics which occur around the delivery valve. The slope of the valve body by 30 has a flow speed the most low of the cycle while pumping from the two other variations. The slope of the valve body 15 produces a color vector that is green from a slope of 45, mean speed around the delivery valve body to the most high possessed by a slope of 15. As well as the tilt of the delivery valve body of 45 is the tilt that produces more volumetric flow rate.

Key words: hydram pump; delivery valve; flow pattern

1. Pendahuluan

Pompa hidram merupakan pompa yang dalam pengoperasiannya memanfaatkan energi potensial dari sumber air dengan kemiringan tertentu menjadi energi kinetik yang menciptakan palu air. Terdapat dua bagian yang bekerja secara konstan yaitu katup pengantar dan katup limbah. Dalam proses kerjanya, pompa hidram memiliki empat siklus kerja yang dimulai dari akselerasi, kompresi, *delivery* dan rekoil. Saat ini detail pola aliran disetiap tahapan siklus kerja pompa hidram dengan material baja atau PVC belum dapat digambarkan dengan tepat melalui eksperimen. Sehingga pada penelitian ini dilakukan visualisasi pola aliran di sekitar katup pengantar pada pompa hidram dengan material akrilik dan air sebagai fluida kerjanya.

Maka terdapat beberapa masalah yang dikaji meliputi bagaimanakah karakteristik aliran yang terjadi di sekitar katup pengantar serta bagaimanakah unjuk kerja pompa hidram jika kemiringan badan katup pengantar divariasikan?

Batasan masalah yang ditentukan dalam penelitian ini meliputi aliran pada saat pengambilan data diasumsikan *steady flow* dan *steady state* serta kondisi lingkungan diasumsikan konstan

2. Dasar Teori

Pompa hidram merupakan pompa dengan prinsip kerja memanfaatkan fenomena palu air. Besar pengaruh palu air dapat dirumuskan dengan persamaan regresi linier, sebagai berikut:

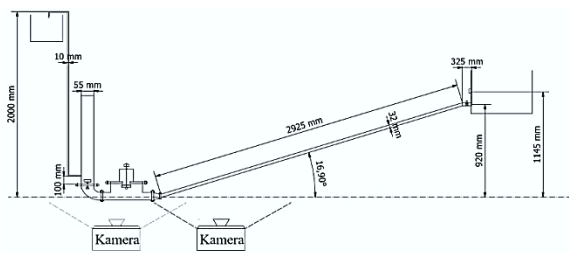
$$V_c = 4,97 v + 615,02 \quad (1)$$

V_c = Besar cepat rambat gelombang tekanan yang ditimbulkan (m/s)

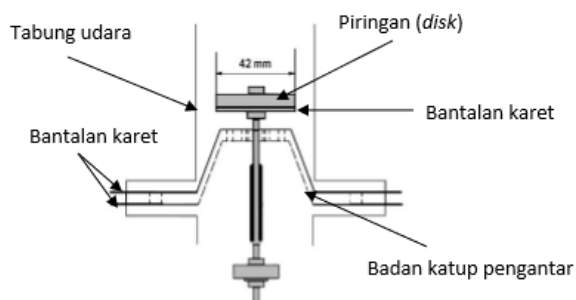
V = Besar kecepatan aliran dalam pipa (m/s).

Rekaman gambar digital dan teknologi komputer sangat bagus untuk membantu masalah yang berhubungan dengan aliran fluida [2]. Dalam pengolahan gambar menggunakan *software Free Video to JPG Converter* untuk mengekstrak video menjadi *frame* yang terpisah.

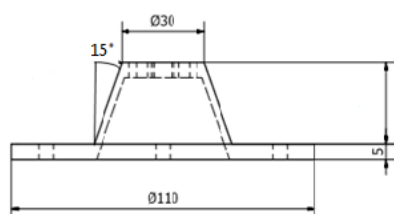
3. Skema Penelitian



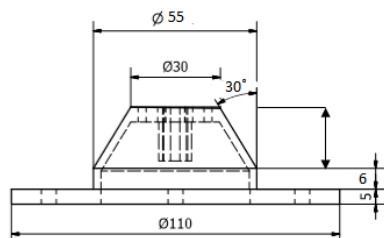
Gambar 1. Skema pompa hidram



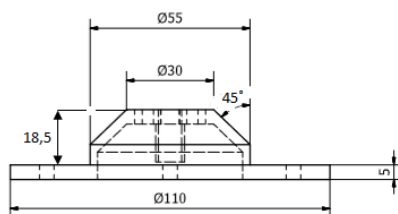
Gambar 2. Skema katup pengantar



Gambar 3. Kemiringan 15°



Gambar 4. Kemiringan 30°

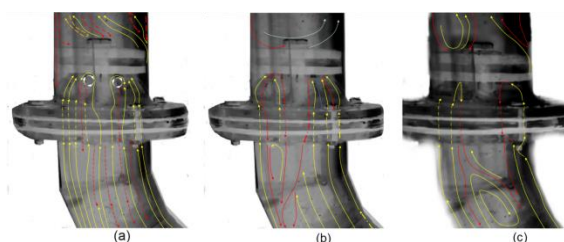


Gambar 5. Kemiringan 45°

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Hasil Visualisasi

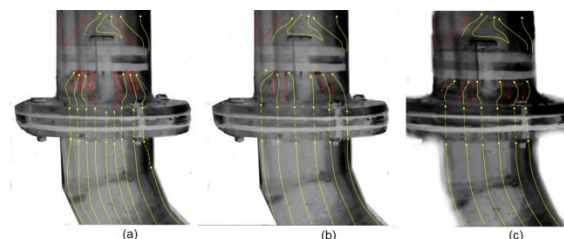
4.1.1. Pola aliran pada siklus akselerasi



Gambar 6. Hasil eksperimen akselerasi (a) 15°, (b) 30° dan (c) 45°

Gambar 6 merupakan visualisasi pola aliran di sekitar katup pengantar pada siklus akselerasi dengan eksperimen. Daerah bawah katup pengantar terlihat partikel bergerak ke atas menuju katup pengantar dan beberapa partikel terlihat bergerak ke samping lalu menuju katup (pola berwarna kuning). Terlihat aliran turun ke bawah mengikuti gaya gravitasi (pola berwarna merah). Pada aliran di dalam badan katup pengantar terlihat adanya fenomena sirkulasi aliran, hal ini terjadi akibat profil aliran yang kembar dan berlawanan arah. Sedangkan aliran di sekitar atas katup pengantar digambarkan ada aliran yang jatuh ke bawah (berwarna merah) akibat gaya gravitasi dan ada aliran naik (pola berwarna kuning) menyamping menuju arah pipa *delivery*.

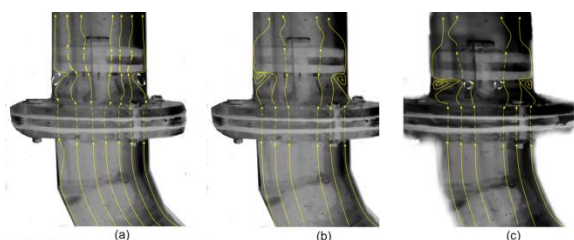
4.1.2. Pola aliran pada siklus kompresi



Gambar 7. Hasil eksperimen kompresi (a) 15°, (b) 30° dan (c) 45°

Gambar 7 merupakan visualisasi pola aliran di sekitar katup pengantar pada siklus kompresi dengan eksperimen. Terlihat pada siklus ini terjadi fenomena *water hammer* yaitu penutupan katup limbah secara tiba-tiba dan mendorong fluida bergerak ke segala arah termasuk menuju katup pengantar. Aliran mengalir menuju katup pengantar (garis berwarna kuning) dan adanya sedikit aliran yang ke bawah (garis berwarna merah) akibat aliran yang menabrak badan katup pengantar sehingga terjadi sedikit pantulan aliran. Pada tahapan ini katup pengantar masih dalam keadaan tertutup sehingga aliran yang berada di atas katup pengantar masih memiliki energi untuk bergerak ke atas, namun ada juga aliran yang bergerak jatuh ke bawah akibat gaya gravitasi.

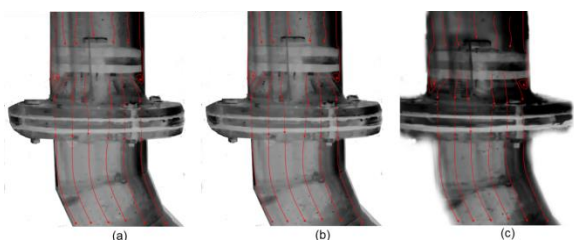
4.1.3. Pola aliran pada siklus *delivery*



Gambar 8. Hasil eksperimen *delivery* (a) 15°, (b) 30° dan (c) 45°

Pada Gambar 8 merupakan visualisasi pola aliran di sekitar katup pengantar pada siklus *delivery* dengan eksperimen, pada tahap ini katup pengantar dalam keadaan terbuka sehingga semua aliran bergerak melewati katup pengantar menuju pipa *delivery* (pemompaan) dan terlihat fenomena sirkulasi aliran di samping katup akibat dari perubahan kecepatan fluida alir. Pada kemiringan 45° juga terlihat adanya sirkulasi aliran di sekitar bawah katup pengantar dan dua variasi lainnya tidak terlihat dengan jelas adanya sirkulasi aliran di daerah yang sama.

4.1.4. Pola aliran pada siklus rekoil



Gambar 9. Hasil eksperimen rekoil (a) 15°, (b) 30° dan (c) 45°

Gambar 9 merupakan visualisasi pola aliran di sekitar katup pengantar pada siklus rekoil dengan eksperimen, pada siklus semua aliran bergerak menuju ke badan badan pompa (pola berwarna merah) dan terlihat adanya sirkulasi aliran di sekitar samping katup pengantar akibat tabrakan. Aliran di sekitar atas katup pengantar terlihat mengalir ke bawah seiring tertutupnya katup pengantar (pola berwarna merah). Melalui eksperimen, pola aliran pada saat rekoil pada tiap variasinya cenderung sama.

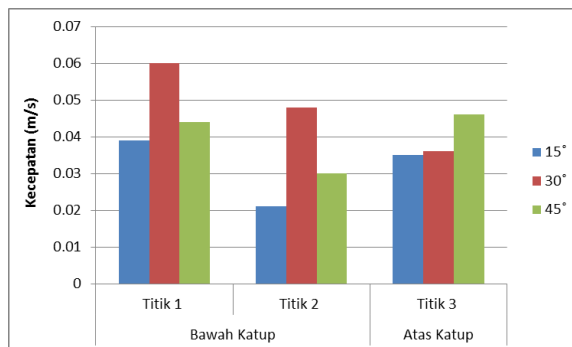
4.2. Kecepatan sekitar katup pengantar

Hasil pengukuran kecepatan menggunakan hasil olah gambar atau eksperimen dengan hasil simulasi didapatkan hasil pengukuran kecepatan:

Tabel 1. Kecepatan sekitar katup pengantar

Variasi	Bawah Katup		Atas Katup
	Titik 1	Titik 2	Titik 3
15°	0.039	0.021	0.035
30°	0.06	0.048	0.036
45°	0.044	0.03	0.046

Berdasarkan dari Tabel 1 didapatkan grafik kecepatan sebagai berikut:

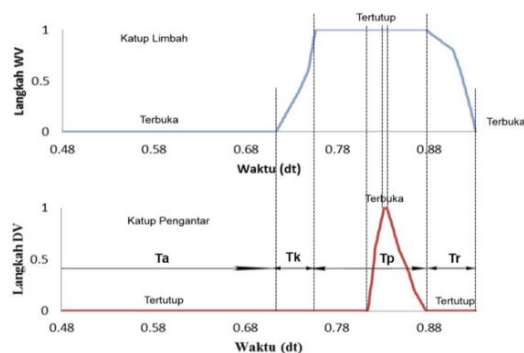


Gambar 10. grafik kecepatan aliran disekitar katup pengantar tiap variasi

Berdasarkan detail kecepatan yang dihasilkan tiap variasi dapat dilihat jika kemiringan badan katup 45° menghasilkan alir kecepatan yang lebih rendah. Kemiringan badan katup 30° menghasilkan kecepatan yang paling tinggi, namun terus mengalami penurunan. Kemiringan badan katup 45° terjadi perlambatan lalu ada peningkatan pada saat di atas katup pengantar yaitu setelah berada di tabung udara. Hal ini berpengaruh pada debit pemompaan yang paling banyak dihasilkan oleh variasi 45°.

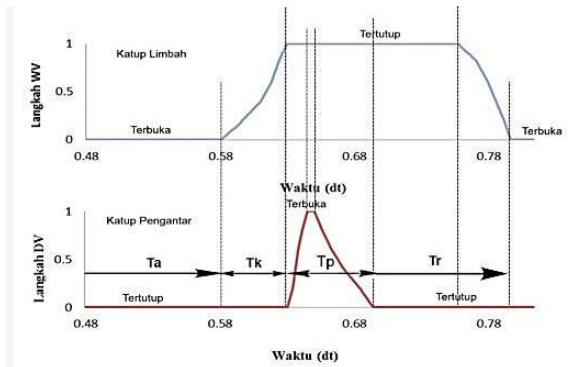
4.3. Siklus kerja katup

Grafik panjang langkah katup limbah terhadap waktu diukur menggunakan olah citra gambar dengan mengubah video menjadi gambar menggunakan *software Free Video to JPG converter*, kemudian setiap perpindahan 1 mm katup limbah akan dibagi dengan jumlah frame yang didapatkan.



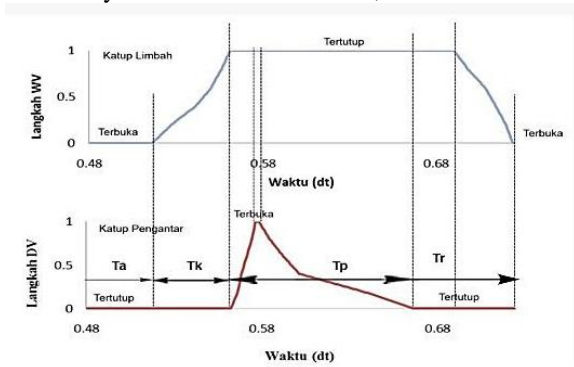
Gambar 11. Detail siklus kerja katup variasi 0°

Berdasarkan gambar 11 di atas tiap siklus pompa hidram dengan variasi kemiringan badan katup 15° yaitu, proses akselerasi (T_a) berlangsung selama 0,713 detik, proses kompresi (T_k) berlangsung selama 0,041 detik, proses *delivery* (T_d) berlangsung selama 0,12 detik dan rekoil (T_r) selama 0,054 detik. Dengan persentase tiap siklus ialah proses akselerasi sebanyak 76,58%, proses kompresi sebanyak 4,4%, proses *delivery* sebanyak 12,88% dan sisanya ialah rekoil sebanyak 5,8%.



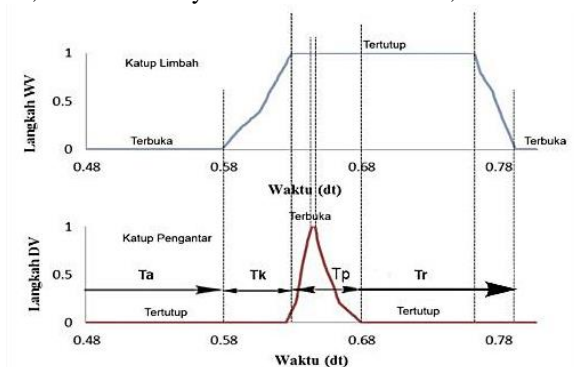
Gambar 12. Detail siklus kerja katup variasi 15°

Berdasarkan data di atas didapat tiap siklus pompa hidram dengan variasi kemiringan badan katup 15° yaitu, proses akselerasi (T_a) berlangsung selama 0,580 detik, proses kompresi (T_k) berlangsung selama 0,047 detik, proses *delivery* (T_d) berlangsung selama 0,063 detik dan rekoil (T_r) selama 0,102 detik. Dengan persentase tiap siklus ialah proses akselerasi sebesar 72,8%, proses kompresi sebesar 5,9%, proses *delivery* sebesar 7,9% dan sisanya ialah rekoil sebesar 12,40%.



Gambar 13. Detail siklus kerja katup variasi 30°

Berdasarkan data di atas didapat tiap siklus pompa hidram dengan variasi kemiringan badan katup 30° yaitu, proses akselerasi (T_a) berlangsung selama 0,516 detik, proses kompresi (T_k) berlangsung selama 0,043 detik, proses *delivery* (T_d) berlangsung selama 0,104 detik dan rekoil (T_r) selama 0,056 detik. Dengan persentase tiap siklus ialah proses akselerasi sebesar 71,27%, proses kompresi sebesar 5,9%, proses *delivery* sebesar 13,95% dan sisanya ialah rekoil sebesar 7,7%.

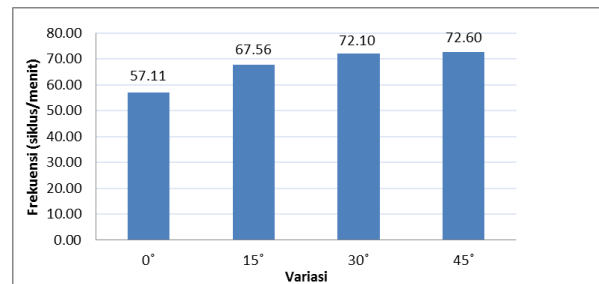


Gambar 14. Detail siklus kerja katup variasi 45°

Berdasarkan data di atas didapat tiap siklus pompa hidram dengan variasi kemiringan badan katup 45° yaitu, proses akselerasi (T_a) berlangsung selama 0,578 detik, proses kompresi (T_k) berlangsung selama 0,049 detik, proses *delivery* (T_d) berlangsung selama 0,054 detik dan rekoil (T_r) selama 0,111 detik. Dengan persentase tiap siklus ialah proses akselerasi sebesar 72,97%, proses kompresi sebesar 6,18%, proses *delivery* sebesar 6,8% dan sisanya ialah rekoil sebesar 14%.

4.4. Frekuensi pergerakan katup limbah pompa hidram

Detail frekuensi pergerakan katup limbah melalui eksperimen disajikan dalam grafik seperti berikut:



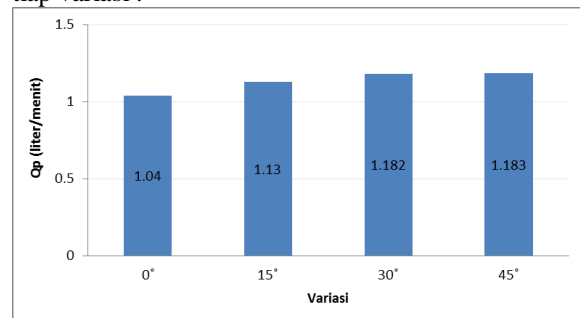
Gambar 15. Grafik frekuensi katup

Berdasarkan data di atas dapat dilihat pengaruh dari sudut kemiringan badan katup pengantar terhadap frekuensi pergerakan katup limbah, semakin besar sudut kemiringan badan katup pengantar maka semakin tinggi frekuensi pergerakan katup limbah yang dihitung dalam waktu satu menit. Hal ini menunjukkan bahwa pengulangan siklus yang terjadi pada tiap variasinya semakin cepat. Pengaruhnya untuk debit pemompaan ialah semakin banyak frekuensi pergerakan katup limbah maka semakin banyak pula debit pemompaan yang dihasilkan.

4.5. Unjuk Kerja Pompa Hidram

4.5.1 Debit Pemompaan

Debit pemompaan didapatkan dengan hasil bagi volume air yang masuk ke dalam reservoir sebanyak satu liter terhadap waktu. Berikut hasilnya setelah dirata-ratakan dengan percobaan sepuluh kali tiap variasi :



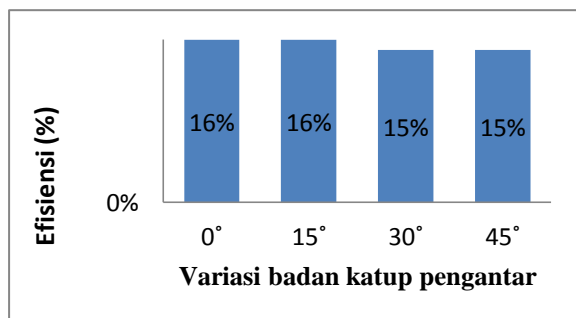
Gambar 16. Grafik rata-rata debit pemompaan

Berdasarkan grafik di atas terlihat adanya peningkatan debit pemompaan, semakin besar

kemiringan badan katup pengantar maka debit hasil pemompaan semakin meningkat

4.5.2 Efisiensi Pompa

Untuk mengetahui besarnya efisiensi pompa hidram yang perlu diketahui adalah tinggi bak (*supply tank*) 0,92 meter, tinggi reservoir yaitu 2 meter, debit pemompaan (Q_p) dan debit air penggerak pompa ($Q_s = Q_p + Q_w$), berikut hasil yang didapat:



Gambar 17. Grafik efisiensi terhadap variasi

Berdasarkan tabel 4.6 plat datar dan kemiringan badan katup pengantar 15° memiliki efisiensi yang paling tinggi sebesar 16% dan variasi 30° dan 45° memiliki efisiensi yang paling kecil sebesar 15%.

5. Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pengolahan data yang dilakukan secara eksperimen dan simulasi numerik maka kesimpulan yang diperoleh untuk visualisasi pola aliran ialah kemiringan badan katup pengantar mempengaruhi pola aliran yang terjadi di sekitar katup pengantar. Didapatkan bahwa kemiringan badan katup sebesar 30° memiliki kecepatan aliran yang paling rendah saat siklus pemompaan dari dua variasi lainnya. Hal tersebut terbukti dari warna vektor aliran yang cenderung lebih gelap. Kemiringan badan katup 15° menghasilkan warna vektor yang lebih hijau dari kemiringan 45°, hal ini berarti kecepatan di sekitar badan katup pengantar paling tinggi dimiliki oleh kemiringan 15°.

Berdasarkan analisis keseluruhan yang dilakukan didapatkan hasil kemiringan badan katup 45° memiliki debit pemompaan yang paling banyak dari ketiga variasi lainnya.

6. Saran

Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk mensimulasikan 3D phenomena aliran yang terjadi di sekitar katup pengantar dengan variasi panjang langkah (*stroke*) katup pengantar tersebut.

Daftar Pustaka

- [1] Auld, 2000, *Integral Approach to the Control Volume Analysis of Fluid Flow*, Australia: Aerospace Engineering University of Sydney.
- [2] Cengel, & Cimbala, 2004, *Fluid Mechanic Fundamentals and Applications*, McGraw-Hill.

- [3] Donahue, M. J., 1998, *Vector Plot Remanent State Comparisons*.
- [4] Mcdonough, J. M., 2009, *Lectures In Elementary Fluid Dynamics: Physics, Mathematics and Applications*, Analysis.
- [5] Muhaimin, 2016, *Pengaruh Ketinggian Sumber Air Terhadap Efisiensi Pompa Hidram*, Widya Teknika, 2, 2.
- [6] Reza Fatahi-Alkouhi(1), B. L.-A. & A. K., 2015, *Determine The Efficiency Of Hydraulic RAM-PUMPS*. E-Proceedings of the 36th IAHR World Congress.
- [7] Santoso, E., 2016, *Analisa Pengaruh Panjang Pipa Inlet dan Panjang Pegas Katub Buang Terhadap Performance Pompa Hidram*, JHP17 Jurnal Hasil Penelitian LPPM Untag, 01, 11–24.
- [8] Setyawaty, 2014, *Pemanfaatan Pompa Hidram Dalam Penyediaan Air Bersih*. Pusat Penelitian Dan Pengembangan Permukiman, ISBN : 978-602-8330-90-9.
- [9] Srisha Rao, M. V., & Jagadeesh, G., 2013, *Visualization and image processing of compressible flow in a supersonic gaseous ejector*, Journal of the Indian Institute of Science.
- [10] Streeter, V. L., 1964, *Waterhammer Analysis With Nonlinear Frictional Resistance In Hydraulics and Fluid Mechanics*, <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-010291-7.50032-x>
- [11] Suarda, M., & Suarnadwipa, I. N., 2012, *Perancangan dan Pengujian Katup Membran pada Katup pengantar Pompa Hidram*.
- [12] Suroso, 2012, *Siklus Pemompaan Pompa Hidraulik*, Seminar Nasional VIII.

	<p>Tasya Lifa Tampubolon memulai kuliah di Universitas Udayana pada tahun 2016 dan menyelesaikan studi S1 pada tahun 2020 dengan mengambil program studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana.</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan pompa hidram.</p>	