

ISSN 2302 – 5182



TEKNIK DESAIN MEKANIKA

Jurnal Ilmiah Teknik Mesin

Volume 10 • Nomor 1 • JANUARI • 2021 • Hal. 1144-1278

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 10

Nomor 1

Hal. 1144-1278

Badung, Januari 2021

ISSN 2302-5182

TEKNIK DESAIN MEKANIKA
Jurnal Ilmiah Teknik Mesin



Volume 10, Nomor 1, Januari 2021, Hal. 1144 – 1278

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 10 Nomor 1, Januari 2021 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 10 Nomor 1 ini, disajikan 25 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 10 • Nomor 1 • Januari 2021 • Hal. 1144 – 1278

Daftar Isi

Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Pada Blower Aksial Terhadap Tekanan Dinamis G.M.D.P. Dananjaya, A.A.A. Suryawan, I.G.K. Sukadana	1144- 1148
Pengaruh variasi Komposisi Pada <i>Ceramic Matrix Composite</i> Berpenguat Siw/Mg Terhadap Densitas Dan Konduktivitas Termal I Md Arie Agni Wira P., K. Suarsana, IGN Priambadi	1149 - 1152
Analisa Pengaruh Metode Pembersihan <i>Core</i>, Pengeringan <i>Core</i>, dan <i>Bonding Test Block</i> Pada Uji <i>Flatwise Sandwich Carbon Epoxy Dengan Glass Core</i> Kevin Krisna , N.P.G Suardana , C.I.P.K Kencanawati	1153 – 1157
Keausan Baja Karbon Sedang Akibat Variasi Beban Gesek Pada Suhu Permukaan Kontak 300°C Dewa Made Riswandha Putra, I Made Widiyarta dan I Made Parwata	1158 – 1161
Kajian Eksperimen Pola Aliran Udara 2-D yang Melintasi Kendaraan Model I Putu Widiarta, Anak Agung Adhi Suryawan dan I Gusti Ketut Sukadana	1162- 1165
<i>Preliminary Design</i> Rotor Turbin Radial pada Sistem Siklus Rankine Organik dengan Memanfaatkan Gas Buang Turbin Putu Ivan M.M. , I.G.B Wijaya Kusuma, I Wayan Bandem Adnyana	1166- 1173
Karakteristik Kekuatan Mekanik Papan Partikel Komposit Serbuk Kayu Jati Dengan Matriks Resin Epoksi Elka-311 Dengan Variasi Fraksi Massa I Made Satria Wibawa, C.I.P.K. Kencanawati, D.N.K. Putra Negara	1174 – 1180
Performansi Pendinginan Kombinasi Sistem <i>Direct</i> Dan <i>Indirect Evaporative Cooling</i> I Made Yudi Darmawan, Hendra Wijaksana, dan N.Suarnadwipa	1181 – 1185
Pengaruh Variasi Kecepatan Aliran Udara Pada <i>Evaporative Cooling</i> Kombinasi <i>Indirect</i> Dan <i>Direct</i> I Made Purnamayanto, Hendra Wijaksana dan N. Suarnadwipa	1186 - 1191
Karakterisasi Bioplastik Dengan Variasi Fraksi Berat Pati Tapioka Dan Pati Maizena Terhadap Kekuatan Tarik Dan Bending	1192 – 1195

Ida Bagus Satria Pramana, I Gusti Ngurah Nitya Santhiarsa, Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati	
Pengaruh Variasi Fraksi Volume Serat Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Hybrid Polypropylene/Serat Lidah Mertua Dan Sabut Kelapa Yoga Setiawan, Ngakan Putu Gede Suardana, dan I Putu Lokantara	1196 - 1202
Pengaruh Variasi Fraksi Volume Serat Terhadap Daya Serap Air Komposit Hybrid Polypropylene / Serat Lidah Mertua Dan Sabut Kelapa Azmidar Raizaldi Rais, Ngakan Putu Gede Suardana, I Putu Lokantara	1203 - 1207
Pengaruh Variasi Fraksi Volume Terhadap Ketahanan Api Komposit Hibrid Polypropylene Dengan Penguat Serat Lidah Mertua Dan Sabut Kelapa Yoseph Christian Armando, Ngakan Putu Gede Suardana, I Putu Lokantara	1208 - 1211
Analisis Pengaruh Diameter Lubang Katup Limbah Pompa Hidram Terhadap Gerakan Katup Limbah Dan Gaya Impuls Dedy Rony Putra Nadapdap, Made Suarda, Made Sucipta	1212 - 1117
Pengaruh Variasi Fraksi Volume Terhadap Kekuatan Bending Komposit Hybrid Polypropylene Daur Ulang Berpenguat Serat Lidah Mertua Dan Sabut Kelapa Steven Don Paul, Ngakan Putu Gede Suardana,IP Lokantara	1218 - 1223
Analisis Peningkatan Efisiensi Penggunaan Energi Listrik pada Sistem Pengkondisian Udara di Hotel Dewata Indah Denpasar I Wyn Teddy Andhika Putra, I Gst. Bagus Wijaya Kusuma, dan Hendra Wijaksana	1224 - 1229
Karakteristik Kekuatan Tarik dan Lentur Komposit Polyester Berpenguat Serat Sisal Yang Diekstraksi Dengan Metode Water Retting Gede Himawan Putra, I Wayan Surata, Tjokorda Gde Tirta Nindhia	1230 - 1238
Analisis Dan Audit Energi Listrik Di Hotel Taman Wisata Denpasar Komang Wiwik D., I.G.B Wijaya Kusuma, I Gusti Ngurah Priambadi	1239 - 1243
Profil Temperatur Pada Dual Reactor Fluidized Bed (DRFB) Dengan Bahan Bakar Sampah Kota Abdurrahman Muttaqin, I Nyoman Suprpta Winaya, I Putu Lokantara	1244 - 1247
Studi Temperatur dan Hasil Gas Komposisi Bahan Bakar Sampah Kota pada Gasifikasi Dual Reactor Fluidized Bed Gian Geraldo Pangaribuan, I Nyoman Suprpta Winaya, I Putu Lokantara	1248 - 1252
Studi Pengaruh Penambahan Limbah Plastik pada Sampah Kota Terhadap Temperatur dan Fuel Conversion Rate Gasifikasi Downdraft I Made Dony Mei Hermawan, I Nyoman Suprpta Winaya, I Putu Lokantara	1253 - 1255
Pengaruh Variasi Temperatur Pirolisis Fixed Bed terhadap Massa Kondensat Bungkil Kemiri Sunan	1256 - 1258

I Wayan Widana, I Nyoman Suprpta Winaya, I Gede Putu Agus Suryawan	
Analisis Pengaruh Diameter Lubang Katup Limbah Pada Pompa Hidram Terhadap Kecepatan Aliran Dalam Pipa Penggerak Dan Efisiensi Pompa Martin Maruli Tua, Made Suarda, Made Sucipta	1259 - 1264
Karakteristik Mekanik Komposit Polyester Berpenguat Serat Sisal Yang Diekstrak Dengan Metode Dekortikasi I Made Mandala Putra Utama, Tjokorda Gde Tirta Nindhia, I Wayan Surata	1265 - 1271
Pemanfaatan Perpindahan Panas Alami Sebagai Energi Penggerak Kincir Angin Tipe Horizontal Di Sekitar Alat Pengering Angelica Ronauli Sihombing, I.G.B. Wijaya Kusuma, N. Suarnadwipa	1272 - 1278

Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Pada Blower Aksial Terhadap Tekanan Dinamis

G.M.D.P. Dananjaya, A.A.A. Suryawan, I.G.K. Sukadana
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit, Jimbaran Bali

Abstrak

Blower aksial memanfaatkan energi mekanis dari perputaran poros dan diubah menjadi aliran udara secara aksial di dekat poros dan mempunyai energi kinetis, yang diberikan oleh sudu-sudu. Begitu aliran udara meninggalkan kipas blower pada kecepatan yang relatif tinggi, aliran udara tersebut di transformasikan dari energi kinetis menjadi tekanan udara dinamis. Kinerja blower aksial di pengaruhi oleh banyak faktor terutama jumlah sudu pada blower aksial, sehingga dilakukan analisis tentang pengaruh jumlah sudu pada terhadap tekanan dinamis yang dihasilkan oleh suatu blower aksial. Penelitian tentang pengaruh jumlah sudu pada blower aksial terhadap tekanan dinamis yang dihasilkan dilakukan secara eksperimen, pengujian dilakukan di wind tunnel, dan diuji dengan putaran motor 1400 rpm. Pada penelitian ini ada 3 variasi jumlah sudu pada blower yang digunakan masing-masing berjumlah 3, 4, dan 5 sudu. Untuk mengukur kecepatan udara menggunakan Inclined Manometer sehingga didapat data awal berupa pertambahan panjang fluida ukur (minyak tanah) pada mistar dengan sudut kemiringan 15 derajat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada blower tipe aksial dengan variasi jumlah sudu 3, 4, dan 5 mengalami peningkatan tekanan dinamis sebesar 45%. Hal ini disebabkan oleh bertambahnya jumlah sudu sehingga ruang antar sudu semakin menyempit. Jika ruang antar sudu semakin menyempit maka akan menyebabkan terjadinya peningkatan tekanan dinamis sebagai efek viscositas fluida dan respon/reaksi dari perputaran sudu.

Kata Kunci: Blower Aksial, Sudu, Tekanan Dinamis

Abstract

The axial blower utilizes the mechanical energy from the rotation of the shaft and is converted into air flow axially near the shaft and has kinetic energy, which is given by the blades. Once the air flow leaves the blower fan at a relatively high speed, it is transformed from kinetic energy to dynamic air pressure. The performance of the axial blower is influenced by many factors, especially the number of blades on the axial blower, so an analysis of the effect of the number of blades on the dynamic pressure generated by an axial blower is carried out. Research on the effect of the number of blades on the axial blower on the resulting dynamic pressure was carried out experimentally, testing was carried out in a wind tunnel, and tested with a motor rotation of 1400 rpm. In this study, there are 3 variations in the number of blower blades used, respectively 3, 4, and 5 blades. To measure air velocity using an Inclined Manometer so that the initial data obtained is the increase in the length of the measuring fluid (kerosene) on the ruler with a slope angle of 15 degrees. The results showed that in axial type blowers with variations in the number of blades 3,4, and 5 experienced a dynamic pressure increase of 45%. This is due to the increasing number of blades so that the space between the blades is narrowing. If the space between the blades narrows, it will cause an increase in dynamic pressure as a viscosity effect of the fluid and the response/reaction of the blades rotations.

Keywords: Axial blower, blades, dynamic pressure

1. Pendahuluan

Didalam dunia industri terdapat banyak sekali macam proses yang menggunakan fluida gas. Maka dibutuhkan sebuah alat untuk mengalirkan fluida gas tersebut. Kompresor, fan dan blower adalah alat yang digunakan untuk memindahkan gas. Blower dan fan sering digunakan untuk ventilasi pada pabrik ataupun untuk proses industri yang memerlukan aliran udara. Fan dan blower biasanya dibedakan tergantung metode yang digunakan dan tekanan sistem operasinya untuk menggerakkan udara/gas.

Blower merupakan alat yang dipakai untuk menaikkan tekanan udara atau gas yang

dialirkan kedalam suatu ruangan serta sebagai alat pengisapan udara atau gas. Pada industri kimia, blower biasanya dipakai untuk adanya perputaran gas tertentu yang biasa dikenal dengan booster atau circulator. Bila untuk keperluan kusus, blower kadang-kadang diberi nama lain. Seperti untuk keperluan gas dalam oven dan kulkas, blower disebut dengan nama exhouter. Blower dapat dibedakan menjadi tiga yaitu: Positive Displacement Blower, Blower Sentrifugal dan Blower Aksial.

Blower Aksial umumnya terdiri dari satu baling-baling yang dilengkapi dengan beberapa sudu yang terdapat pada poros yang

berputar dan ditutupi oleh sebuah rumah/casing. Dalam proses konversi energi, blower aksial memanfaatkan energi mekanis dari perputaran poros dan diubah menjadi aliran udara. Aliran udara didalam rotor diarahkan secara aksial pada daerah dekat poros yang memiliki energi kinetis, yang diberikan oleh sudu. Begitu aliran udara meninggalkan baling-baling dengan kecepatan yang relatif tinggi, aliran udara tersebut di transformasikan dari energi kinetis menjadi tekanan udara dinamis [1].

Hal yang mempengaruhi kinerja blower aksial salah satunya adalah desain sudu-sudu dan rumah/casing. Banyak faktor yang mempengaruhi terhadap desain sudu-sudu seperti sudut pemuntiran, panjang span serta jumlah sudu dari baling-baling [2].

Berlandaskan pada latar belakang di atas, maka peneliti merasa perlu dilakukannya suatu penelitian serta analisa tentang variasi jumlah sudu baling-baling pada blower aksial terhadap tekanan dinamis yang dihasilkan. Adapun pengujian yang dilakukan yaitu dengan menggunakan baling-baling blower berdiameter 230 mm. dalam penelitian ini, dibuat tiga baling-baling dengan jumlah sudu yang berbeda yaitu dengan jumlah 2,3, dan 4 sudu.

Tujuan dilakukannya penelitian ini yaitu Untuk mengetahui pengaruh jumlah sudu baling-baling pada blower terhadap tekanan dinamis udara yang dihasilkan. Untuk mendapatkan hasil dari luas permasalahan yang ada maka perlu dilakukan pembatasan antara lain:

- 1) Jumlah sudu masing-masing baling-baling pada blower berjumlah 3, 4, dan 5
- 2) Pengujian dilakukan pada wind tunnel dengan panjang 1,5 meter dan bediameter 25 cm
- 3) Putaran motor 1400 RPM.

2. Dasar Teori.

2.1. Hukum Bernoulli

Prinsip Bernoulli adalah aliran fluida merampingkan setiap partikel cairan mengalir persis di jalur partikel sebelumnya dan memiliki kecepatan yang sama seperti partikel sebelumnya. Prinsip ini merupakan bentuk sederhana dari Persamaan Bernoulli dimana jumlah energi yang berada pada suatu titik di dalam aliran tertutup, besarnya sama dengan jumlah energi yang berada pada titik lain dengan jalur aliran yang sama [3].

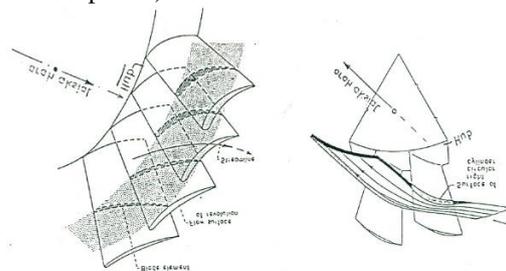
2.2. Pengertian Blower

Blower merupakan alat yang berfungsi untuk menaikkan tekanan udara dan gas yang dialirkan kedalam sebuah ruangan dan juga digunakan sebagai pengisapan atau

vakum udara. Blower dan fan sentrifugal punya prinsip kerja yang hampir mirip, yaitu mengalirkan dan mengubah fluida dari tekanan rendah ke tekanan tinggi akibat dari adanya gaya sentrifugal yang terjadi pada fluida [4].

2.3. Blower Aksial

Blower aksial merupakan blower yang tipe aliran didalam rotor diarahkan secara aksial (alirannya sejajar poros), blower aksial tergolong rotodynamic blower, demikian pula dengan blower sentrifugal/radial, yang proses kompresi di dalamnya diakibatkan karena efek pemampatan dinamik antara sudu dan fluida kerja, yang dimana hal tersebut tidak mengacu pada perubahan volume, sama halnya seperti pada positive displacement blower (kompresor torak maupun rotari). Berbeda dengan blower sentrifugal/radial, dimana blower sentrifugal/radial merupakan blower yang tipe aliran didalam rotor diarahkan secara radial (alirannya keluar sumbu poros).



Gambar 1. Aliran pada Blower Aksial

Bila dibandingkan dengan blower sentrifugal, kebutuhan daya yang sama pada blower akan menghasilkan head yang lebih kecil, namun kapasitas yang dihasilkan akan lebih besar. Dengan demikian, maka rasio tekanan untuk *singlestage*-nya lebih rendah. Untuk mengatasi hal ini, atau untuk memberikan head/rasio tekanan yang sama, maka blower aksial seringkali dirancang secara multistage, dengan tanpa memperbesar ukuran mesin blower ke arah radial [5].

2.4. Tekanan Dinamis

Tekanan dinamis adalah peningkatan tekanan fluida bergerak di atas nilai statis akibat gerakan, dan juga dapat di anggap sebagai energi kinetik cairan persatuan volume, tekanan dinamis q di definisikan.

$$P_{dinamis} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \quad (1)$$

Dimana:

- $P_{dinamis}$ = Tekanan dinamis (N/m^2)
- ρ = Massa jenis (kg/m^3)
- V = Kecepatan aliran (m/s)

3. Metode penelitian

3.1. Variabel

Dalam penelitian ini variabel bebas yang peneliti gunakan adalah memvariasikan

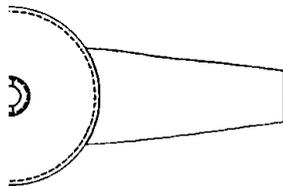
jumlah sudu baling-baling pada blower aksial sebagai berikut blower dengan 3 sudu, blower dengan 4 sudu dan blower dengan 5 sudu.

Sebagai variabel terikat untuk mengetahui pengaruh dari variasi jumlah sudu yang digunakan sebagai variabel bebas maka penulis menggunakan besarnya tekanan dinamis yang dihasilkan sebagai variabel terikat.

3.2. Proses Perancangan Sudu-Sudu

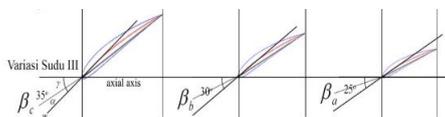
Berikut merupakan proses perancangan dari baling-baling:

- Perancangan diawali dengan membuat desain baling-baling. Pendesainan disini menggunakan *software Fusion 360* agar mempermudah dan untuk mendapatkan dimensi yang sesuai dan presisi.
- Adapun gambar panjang span dapat dilihat pada gambar 3.4



Gambar 2. Panjang span sudu

- Adapun gambar penampang sudu yang adalah sebagai berikut:



Gambar 3. Penampang sudu

- Dari desain diatas dilakukan penambahan jumlah sudu dengan variasi jumlah *sudu baling-baling* yang dapat dilihat pada gambar 3.6, 3.7, dan 3.8.



Gambar 4. Variasi baling-baling 3 sudu



Gambar 5. Variasi baling-baling 4 sudu



Gambar 6. Variasi baling-baling 5 sudu

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Data Hasil Penelitian

Pada penelitian yang sudah dilakukan terhadap sudu blower aksial dengan variasi jumlah sudu yang masing-masing berjumlah 3, 4, dan 5 diperoleh data awal berupa pertambahan panjang fluida ukur (minyak tanah) pada mistar dengan sudut kemiringan 15°. Adapun data awal penelitian yang didapatkan adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Data Hasil Penelitian

No	Variasi Jumlah Sudu	Δr (m)	Temperatur (°C)
1	3	0,004	30°
2	4	0,005	30°
3	5	0,006	30°

Dari data awal hasil penelitian pada tabel diatas menunjukkan adanya pertambahan panjang fluida ukur (minyak tanah) pada mistar pada temperatur yang sama yaitu 30°C, dimana pertambahan panjangnya dinyatakan dengan (Δr). Pada variasi 3 sudu mengalami pertambahan panjang fluida ukur (minyak tanah) sebesar 0,004 m, variasi 4 sudu mengalami pertambahan panjang fluida ukur (minyak tanah) sebesar 0,005 m, dan variasi 5 sudu mengalami pertambahan panjang fluida ukur (minyak tanah) sebesar 0,006 m. Data-data pada tabel 4.1 akan diolah dengan menghitung Δh_{mt} , Δh_{udara} , kecepatan udara untuk mencari hasil tekanan dinamis.

4.2. Pembahasan Data

Berdasarkan hasil data tersebut diatas maka perbedaan ketinggian minyak tanah (Δh_{mt}) dapat dicari dengan perhitungan sebagai berikut:

Δh_{mt} pada variasi 3 sudu :

$$\Delta h_{mt} = 0,004 \cdot \sin 15^\circ = 0,001 \text{ m}$$

Δh_{mt} pada variasi 4 sudu :

$$\Delta h_{mt} = 0,005 \cdot \sin 15^\circ = 0,00125 \text{ m}$$

Δh_{mt} pada variasi 5 sudu :

$$\Delta h_{mt} = 0,006 \cdot \sin 15^\circ = 0,0015 \text{ m}$$

Persamaan tekanan antara minyak tanah dengan udara:

$$\Delta h_{udara} = \frac{SG_{mt} \cdot \Delta h_{mt}}{SG_{udara}} \quad (2)$$

Dimana:

SG_{mt} = Spesifik Gravitasi untuk minyak tanah (0,835)

SG_{udara} = Spesifik Gravitasi untuk udara ($1,076 \cdot 10^{-3}$)

Dari persamaan tekanan antara minyak tanah dengan udara, didapatkan hasil pada tabel.

Tabel 2. Data Hasil Penelitian

No	Variasi Jumlah Sudu	$\Delta h_{mt} (m)$	$\Delta h_{udara} (m)$
1	3	0,001	0,78
2	4	0,00125	0,96
3	5	0,0015	1,16

Dengan mendapatkan data hasil persamaan tekanan antara minyak tanah dengan udara, selanjutnya dilakukan perhitungan terhadap kecepatan udara. Berikut merupakan perhitungan kecepatan dan kapasitas aliran yang dihasilkan dari tiap variasi sudu.

$$\bar{V} = \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h} \quad (3)$$

$$\rightarrow Q = A \cdot \bar{V}$$

Dimana:

- \bar{V} = Kecepatan aliran (m/s)
- g = Gravitasi Bumi (9,8 m/s²)
- Δh = Selisih ketinggian fluida pada Inclined Manometer
- Q = Kapasitas (m³/s)
- A = Luas penampang wind tunnel (0,049)

Jadi setelah hasil dari kecepatan aliran didapatkan, maka tekanan dinamis dapat dicari sebagai berikut:

$$P_d = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \bar{V}^2 \quad (4)$$

Dimana:

- P_d = Tekanan dinamis (N/m²)
- ρ = Massa jenis (kg/m³)
- \bar{V} = Kecepatan aliran (m/s)

Tabel 3. Data Hasil Penelitian

No	Variasi Jumlah Sudu	$\bar{V} (m/s)$	$Q (m^3/s)$	$P_d (N/m^2)$
1	3	3,9	0,19	8,7
2	4	4,3	0,21	10,56
3	5	4,7	0,23	12,62

Adapun grafik pengaruh variasi jumlah sudu terhadap kecepatan dan kapasitas adalah sebagai berikut. Gambar diatas terlihat grafik pengaruh variasi jumlah sudu terhadap pada blower aksial kecepatan dan kapasitas aliran yang dihasilkan, pada blower dengan variasi jumlah sudu 3 menghasilkan kecepatan sebesar 3,9 m/s dan menghasilkan kapasitas sebesar 0,19 m³/s, blower dengan jumlah sudu 4 menghasilkan kecepatan sebesar 4,3 m/s dan menghasilkan kapasitas sebesar 0,21 m³/s, blower dengan jumlah sudu 5 menghasilkan kecepatan sebesar 4,7 m/s dan menghasilkan kapasitas sebesar 0,23 m³/s.

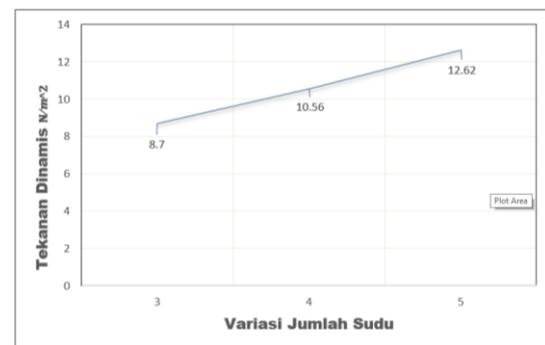
Berdasarkan gambar 4.2 diatas dihasilkan perbandingan jumlah sudu pada blower aksial terhadap tekanan dinamis, bisa dilihat dengan variasi sudu blower 3 sudu menghasilkan tekanan dinamis sebesar 8.7

N/m², pada variasi 4 sudu menghasilkan tekanan dinamis sebesar 10.56 N/m², variasi 5 sudu menghasilkan tekanan dinamis sebesar 12.62 N/m², dari hasil tersebut menunjukkan adanya peningkatan tekanan dinamis sebesar 45%. Semakin bertambahnya jumlah sudu maka akan memberi peluang atas bertambahnya kontak antara partikel fluida dengan sudu yang berfungsi untuk memberikan energi aliran terhadap fluida. Ini membuktikan bahwa terjadi intensitas transfer energi lebih banyak dari sudu ke fluida kerja.)



Gambar 7. Grafik Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Pada Blower Aksial terhadap Kecepatan dan Kapasitas.

Pada penambahan jumlah sudu mengalami peningkatan kecepatan aliran sebesar 20,51% dan peningkatan kapasitas sebesar 21%. Berdasarkan data hasil penelitian dan perhitungan pada tabel 4.3, maka dapat dibuatkan grafik hasil tekanan dinamis yang dihasilkan dari variasi jumlah sudu blower aksial pada gambar 4.2.



Gambar 8. Grafik Variasi Jumlah Sudu terhadap Tekanan Dinamis

Semakin banyak jumlah sudu dan meningkatnya putaran akan diikuti oleh kenaikan kapasitas suatu blower. Tetapi penelitian perlu dilakukan untuk putaran diatas 1500 RPM, sedangkan untuk putaran dibawah 1300 RPM, pengaruh jumlah sudu relatif tidak signifikan karena terjadi slip antara fluida dengan permukaan sudu. Transformasi energi dari sudu ke fluida kerja relatif sedikit, sehingga dapat dikatakan untuk fluida kompressibel (udara), efek *viscositas* fluida relatif kecil.

Penelitian yang dilakukan dengan putaran 1400 RPM [6]. Hasil penelitian menunjukkan, penggunaan blower tipe aksial adalah untuk menghasilkan kapasitas yang lebih besar. Sesungguhnya penelitian perlu dilanjutkan pada jumlah sudu yang lebih banyak lagi pada putaran yang tinggi, agar diperoleh jumlah sudu yang optimal untuk menghasilkan tekanan dinamis yang maksimal

Dengan Bertambahnya jumlah sudu akan diikuti oleh semakin sempitnya ruang antar sudu sehingga total energi yang tersedia (energi motor) akan dikonversi menjadi energi dalam bentuk energi tekanan dinamis (luasan sisi keluaran ruang putar sudu lebih sempit). Dengan terdapat clearance (celah) yang lebih sempit akan menyebabkan terjadinya tekanan yang meningkat sebagai efek *viscositas* fluida dan respon/reaksi dari perputaran sudu.

Bertitik tolak dari bentuk penampang sudu adalah aerofoil, maka dalam batas putaran dan jumlah sudu yang diteliti, pembebanan sudu memberi indikasi belum maksimal sehingga blower jumlah sudu 5 masih memberikan besaran kapasitas yang paling besar karena aliran utama fluida masih mengikuti desain konfigurasi kelengkungan sudu dan luasan efektif bagian keluaran antar sudu belum dipengaruhi oleh separasi aliran, *blockage* mass atau dengan kata lain momentum fluida masih cukup untuk mengatasi *shear stress* yang terjadi.

5. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada blower tipe aksial pada variasi jumlah sudu 3, 4, dan 5 mengalami peningkatan tekanan dinamis sebesar 45%. Hal ini disebabkan oleh bertambahnya jumlah sudu sehingga ruang antar sudu semakin menyempit. Jika ruang antar sudu semakin menyempit maka akan menyebabkan terjadinya peningkatan tekanan dinamis sebagai efek *viscositas* fluida dan respon/reaksi dari perputaran sudu.

Daftar Pustaka

- [1] Riyanto, Andi, 2013, *Analisa Pengaruh Jumlah Sudu Impeler Terhadap Getaran Pada Pompa Sentrifugal*, Skripsi thesis, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [2] Pikatan, Sugata, 1999, *Konversi Energi Angin*. Surabaya, Departemen Mipa Universitas Surabaya.
- [3] Mawaddah, Ninda A.dkk., 2013. *Daniel Bernoulli Utility*, www.danardono.staff.ugm.ac.id/matakuliah/ssfi/SSFI-Kel-10.pdf).

- [4] Fritz Dietzel, Daksono, Sriyono, (1988), *Turbin Pompa dan Kompresor*, Erlangga, Jakarta.
- [5] TANJUNG, AS., 2015, *Studi Eksperimen Pengaruh Blade Setting Angle 30° dan 60° Berprofil Flat Plate Terhadap Karakteristik Kerja Axial Fan 120mm*, Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [6] K.Umurani, Habiburahman, (2019). *Studi Karakteristik Variasi Jumlah Sudu Impeler Pada Unjuk Kerja Blower Sentrifugal*, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara., vol. 2, no. 2, pp. 123-130.

	<p>Gusti Made Dwi Putra Dananjaya, menyelesaikan sekolah menengah atas pada tahun 2016 di SMA Negeri 5 Denpasar Bali, kemudian ia melanjutkan ke Universitas Udayana mengambil jurusan Teknik mesin, dan menyelesaikan kuliahnya pada tahun 2020.</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati yaitu topik-topik mengenai konversi energi dan mekanika fluida, seperti tekanan dinamis pada blower.</p>	

Pengaruh variasi Komposisi Pada *Ceramic Matrix Composite* Berpenguat SiCw/Mg Terhadap Densitas Dan Konduktivitas Termal

I Md Arie Agni Wira P., K. Suarsana, IGN Priambadi

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Ketersediaan material konvensional yang kuantitas dan kualitasnya terbatas memunculkan ide dalam pengembangan material baru yang terdiri dari 2 atau lebih dari gabungan material yang berbeda, yang disebut dengan material komposit. Salah satu bahan yang dapat menjadi sebuah komposit adalah Aluminium Sulfat sebagai matriks dan Silikon Karbida dengan Magnesium sebagai penguatnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui variasi komposisi pada komposit matriks keramik yang berpenguat Silikon Karbida dan Magnesium, meliputi pengujian Densitas, Konduktivitas Termal dan Pengamatan SEM. Manfaat dari penelitian ini memberikan wawasan baru tentang material berbasis komposit. Hasil pengujian densitas pada komposisi matriks $Al_2(SO_4)_3$ 70% berpenguat SiCw 10% dan Magnesium 20% memiliki nilai densitas yang tertinggi. Pada hasil uji konduktivitas termal nilai tertinggi terdapat pada matriks komposisi $Al_2(SO_4)_3$ 70% berpenguat SiCw 10% dan Magnesium 20%. Pengamatan SEM menggunakan pembesaran gambar sebesar 1000x dengan tujuan untuk memperjelas rongga porositas yang terjadi karena nilai porositas berbanding terbalik dengan densitas.

Kata Kunci : Material, Komposit, keramik

Abstract

The availability of conventional materials with limited quantity and quality has led to the idea of developing new materials consisting of two or more combinations of different materials, which are called composite materials. One material that can be a composite is Aluminum Sulfate as a matrix and Silicon Carbide with Magnesium as a reinforce. This research aims to determine variations in the composition of ceramic matrix composites reinforced with Silicon Carbide and Magnesium, including testing Density, Hardness, Thermal Conductivity and SEM observations. The benefits of this research provide new insights about composite based materials. The results of the density test highest value is found in the composition matrix $Al_2(SO_4)_3$ 70% reinforced by 10% SiCw and 20% Magnesium. The results of the thermal conductivity test, highest value is found in the composition matrix $Al_2(SO_4)_3$ 70% reinforced by 10% SiCw and 20% Magnesium. SEM Observation using 1000x magnification of the image with the aim to clarify the porosity cavity that occurs because the density value is inversely proportional to density.

Keyword : Material, Composite, Ceramic

1. Pendahuluan

Perkembangan ilmu pengetahuan pada bidang material di tahun ini menunjukkan inovasi yang luar biasa terutama material maju (*advanced materials*). Suatu jenis bahan baru hasil rekayasa yang terdiri dari dua atau lebih bahan dimana sifat masing-masing bahan berbeda satu sama lainnya baik itu sifat kimia maupun fisiknya atau yang lebih dikenal dengan nama bahan komposit. Salah satu jenis komposit yang banyak menarik perhatian adalah komposit matriks keramik (*Composite Matrix Ceramics/CMC*) karena sifatnya tahan terhadap suhu yang tinggi. Inovasi pada komposit bermetrik keramik menguat dikarenakan munculnya tantangan-tantangan dalam penggunaan material keramik, seperti yang kita ketahui bahwa keramik mempunyai keunggulan seperti tahan suhu yang tinggi, tahan terhadap aus serta berat jenis yang jauh lebih ringan jika dibandingkan dengan material lainnya seperti logam dan polimer. Kajian yang meneliti tentang kekuatan mekanis pada keramik masih sangat jarang dilakukan karena dalam produksi

keramik belum menjadi perhatian yang utama. Kekerasan keramik kaolin semakin naik seiring dengan naiknya suhu sinter dan tekanan kompaksi [1].

Dalam penelitian ini ada dua permasalahan yang akan dikaji:

- Bagaimana pengaruh variasi komposisi $Al_2(SO_4)_3$ - SiCw/Mg melalui proses *powder metalurgy*, meliputi: uji densitas, uji konduktivitas termal dan pengamatan SEM?
- Bagaimana morfologi dari *Ceramic Matrix Composite* (CMC) diperkuat SiCw dan Mg diamati menggunakan SEM (*Scanning Electronic Microscope*)?

Adapun batasan yang akan ditetapkan dalam penelitian:

- Temperatur ruangan pada saat dilakukan proses pengujian menggunakan temperatur kamar.
- Proses kompaksi dilakukan dengan gaya tekan 25 kN dengan waktu tekan 15 menit pada tekanan atmosfer (1 Atm)

- Pengujian yang dilakukan diantaranya uji densitas dan uji konduktivitas termal.

2. Dasar Teori

Komposit dapat didefinisikan suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material sehingga dihasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya [2]. Material komposit mempunyai sifat material dari konvensional pada umumnya dari proses pembuatannya melalui campuran yang tidak homogen, sehingga leluasa merencanakan kekuatan material komposit yang diinginkan dengan jalan mengatur komposisi dari material pembentuknya. Komposit tersusun dari dua komponen yakni pengikat (*matriks*) dan penguat (*reinforcement*) atau sering juga disebut *filler*. *Filler* ini didapat berupa partikel ataupun serat. Suatu bahan yang berupa potongan-potongan yang membentuk jaringan memanjang yang berfungsi untuk memperkuat matriks disebut dengan serat.

Kata alum (aluminium sulfat) berasal dari bahasa latin Alumen. Alum lebih dikenal di masyarakat dengan sebutan tawas. Aluminium sulfat memiliki sifat sebagai koagulan, yaitu bahan kimia yang dibutuhkan air untuk membantu proses pengendapan partikel - partikel kecil yang tidak dapat mengendap dengan sendirinya [3].

Dalam pembuatan komposit, magnesium (Mg) digunakan sebagai penguat matriks komposit dikarenakan magnesium dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan pada kondisi perlakuan panas.

Whisker adalah kristal tunggal yang diperpanjang (*elongated single crystal*) dan memiliki kekuatan yang sangat tinggi karena bebas dari dislokasi. Penguatan dengan menggunakan *whisker* (*whisker reinforcement*) adalah satu dari tiga cara penguatan dalam teknologi bahan komposit disamping penguatan dengan *particulate* dan penguatan serat atau *fibers* [4.]

Proses yang digunakan adalah metalurgi serbuk (*Powder Metallurgy*) merupakan suatu kegiatan yang mencakup pembuatan benda komersial, baik yang jadi atau masih setengah jadi dari serbuk logam melalui penekanan. Produk yang dihasilkan melalui metalurgi serbuk dapat terdiri dari produk campuran serbuk berbagai logam atau dapat pula terdiri dari campuran bahan bukan logam untuk meningkatkan ikatan partikel dan mutu benda secara keseluruhan.

Proses pengompaksian serbuk bertujuan untuk mengkonsolidasikan serbuk ke dalam bentuk yang diinginkan dan memberi kekuatan yang memadai untuk penanganan atau pengerjaan berikutnya. Melalui proses ini terjadi berbagai perubahan fisis akibat tekanan yang diberikan. Secara makro, pengaruh utama dalam proses ini adalah adanya pembentukan suatu massa koheren yang makin

rapat dan keras pada tekanan yang lebih tinggi. Proses pengompaksian besar gaya antara serbuk pada tekanan tertentu dapat memberikan karakteristik produk yang tergantung pula pada kondisi peralatan seperti dimensi, dan tekanan maksimum yang diperbolehkan.

2.1. Pengujian Material Komposit

Pengujian yang dilakukan pada material komposit $Al_2(SO_4)_3$ - SiCw/Mg yaitu Densitas, Konduktivitas Termal dan pengamatan struktur mikro dengan *Scanning Electron Microscope*.

a. Pengujian Densitas

Densitas merupakan besaran fisis, perbandingan dengan volume benda. Pengukuran densitas yang berbentuk padat menggunakan metode Archimedes [5].

$$\rho = \frac{m_s}{m_b - (m_g - m_k)} \times \rho_{H_2O}$$

Dimana:

ρ = Densitas Material (gr/cm³)

m_s = Massa kering (gr)

m_g = Massa material digantung dalam air (gr)

m_b = Massa material setelah direndam dengan air (gr)

m_k = Massa kawat

ρ_{H_2O} = Massa jenis air (1 gr/cm³)

b. Pengujian Konduktivitas Termal

Nilai konduktivitas thermal suatu bahan menunjukkan laju perpindahan panas yang mengalir dalam suatu bahan. Perpindahan panas secara konduksi dapat berlangsung pada benda padat, umumnya logam.

$$\dot{q} = -kA \frac{\partial T}{\partial x}$$

Dimana:

\dot{q} = Laju perpindahan panas (W)

k = Konduktivitas termal (W/m°C)

A = Luas penampang (m²)

$\partial T / \partial x$ = Gradien suhu, yaitu laju perubahan suhu T dalam arah aliran x (°C/m)

c. Scanning Electron Microscope (SEM)

Pengamatan morfologi dilakukan pada permukaan spesimen dengan menggunakan SEM. Pancaran berkas electron yang ditembakkan pada spesimen akan berinteraksi dengan atom - atom atau electron dari spesimen dan menghasilkan objek gambar. SEM menggunakan sinar-X yang memiliki panjang gelombang sebesar 4×10^{-3} nm, atau sekitar 100.000 kali lebih pendek dari panjang gelombang cahaya yang tampak. Hal ini yang menyebabkan SEM dapat digunakan untuk menganalisa objek - objek yang ukurannya sangat kecil yang tidak dapat dipisahkan oleh mikroskop bias. Detektor yang digunakan pada SEM ini adalah secondary electron.

3. Metode Penelitian

Pada penelitian ini penulis membuat material keramik matrik komposit dengan matrik aluminium sulfat, berpenguat serbuk SiCw/Mg. Penelitian ini menggunakan proses metalurgi serbuk. Kemudian dianalisa karakteristik menggunakan uji densitas, kekerasan dan konduktivitas termal serta pengamatan SEM. Dalam pembuatan komposit matrik Aluminium sulfat Berpenguat SiCw/Mg menggunakan metode metalurgi serbuk yang dibuat berbentuk silinder berdiameter 3 cm dan dengan tinggi 2 cm jadi volume komposit yang dihasilkan 14,13 cm³. Bahan yang digunakan yaitu Aluminium Sulfat ($\rho = 2,6 \text{ gr/cm}^3$), SiCw ($\rho = 3,2 \text{ gr/cm}^3$), dan Magnesium ($\rho = 1,7 \text{ gr/cm}^3$) dengan variasi perbandingan yaitu Komposisi I Al₂(SO₄)₃ (80%) – SiCw (15%, 10%, dan 5%) – Mg (5%, 10%, dan 15%), Komposisi II Al₂(SO₄)₃ (70%) – SiCw (20%, 15% dan 10%) – Mg (10%, 15% dan 20%), Komposisi III Al₂(SO₄)₃ (60%) – SiCw (30%, 20% dan 10%) – Mg (10%, 20% dan 30%).

4. Hasil dan Pembahasan

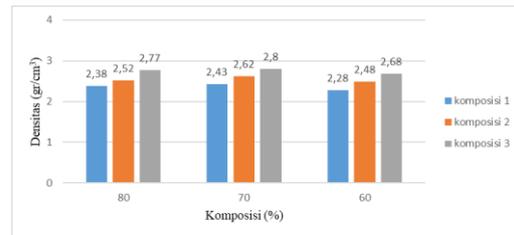
4.1. Data Pengujian Densitas

Pengujian densitas dilakukan pada tiga komposisi matrik, terdapat tiga sampel pada setiap komposisi yang akan dilakukan tiga kali pengujian kemudian dicari rata-ratanya. Pengujian densitas dilakukan dengan cara penimbangan specimen. Spesimen ditimbang dalam keadaan kering sempurna, kemudian ditimbang dalam keadaan di dalam air, dan ditimbang dalam keadaan basah setelah direndam di dalam air. Data hasil dari pengujian ditabelkan pada tabel 1:

Tabel 1. Hasil Uji Densitas

Variasi	densitas (g/cm ³)	rata-rata (g/cm ³)
A80% + B15% + C5%	2,28	2,38
	2,33	
	2,54	
	2,57	
A80% + B10% + C10%	2,45	2,52
	2,56	
	2,80	
	2,76	
A80% + B5% + C10%	2,76	2,77
	2,62	
	2,53	
	2,52	
A70% + B20% + C10%	2,63	2,56
	2,66	
	2,58	
	2,75	
A70% + B10% + C20%	2,92	2,80
	2,74	
	2,31	
	2,28	
A60% + B30% + C10%	2,28	2,28
	2,26	
	2,48	
	2,50	
A60% + B20% + C20%	2,47	2,48
	2,69	
	2,69	
	2,65	

Untuk mempermudah membaca data hasil pengujian densitas, maka akan digambarkan pada grafik dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik Pengaruh Komposisi Terhadap Densitas

Berdasarkan grafik uji densitas pada gambar 1. terlihat bahwa matriks 80%, 70%, dan 60% mengalami peningkatan. Nilai densitas paling tinggi terdapat pada matriks dengan variasi persentase matriks 70% dengan penguat SiCw 10% dan Mg 20%. Hal ini disebabkan oleh komposisi persentase penguat magnesium yang memberikan pengaruh terhadap sifat fisik yaitu densitas meningkat. Sedangkan nilai densitas terendah terdapat pada specimen matriks 60% dengan penguat SiCw 30% dan Mg 10%, ini disebabkan oleh komposisi persentase penguat SiCw yang cenderung terlalu banyak menyebabkan porositas meningkat.

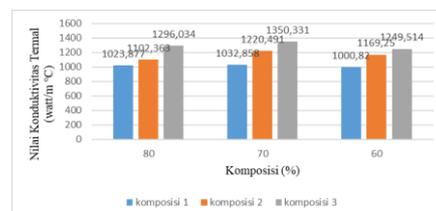
4.2. Data Pengujian Konduktivitas Termal

Data hasil pengujian konduktivitas termal didapat menggunakan prosedur penelitian yang sudah dirancang, yang pengolahan datanya berpedoman dengan *Instruction Manual Book*. Setelah penelitian dilakukan, maka didapatlah data yang akan ditabelkan pada tabel 2.

Tabel 2. Data Hasil Uji Konduktivitas Termal

Variasi	Konduktivitas termal (Watt/m °C)
A80% + B15% + C5%	1023,877
A80% + B10% + C10%	1102,363
A80% + B5% + C10%	1296,034
A70% + B20% + C10%	1032,858
A70% + B15% + C15%	1220,491
A70% + B10% + C20%	1350,331
A60% + B30% + C10%	1000,820
A60% + B20% + C20%	1169,250
A60% + B10% + C30%	1249,514

Dari data pengujian konduktivitas termal yang telah didapat, maka selanjutnya akan diterjemahkan melalui grafik yang tertuang dalam gambar 2.

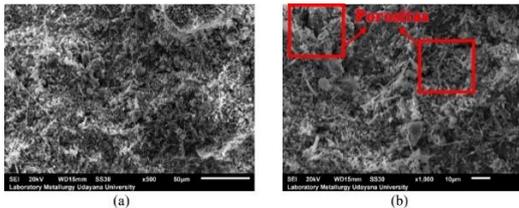


Gambar 2. Grafik Pengaruh Komposisi Terhadap Konduktivitas Termal

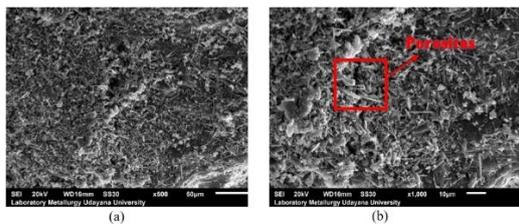
Berdasarkan hasil uji konduktivitas termal yang dilakukan, komposisi matrik 80%, 70% dan 60% mengalami peningkatan karena hasil pengujian ini tidak terlepas dari hasil pengujian densitas yang dilakukan sebelumnya. Nilai konduktivitas termal

paling tinggi terdapat pada spesimen yang memiliki nilai densitas paling tinggi. Hal ini dikarenakan spesimen yang memiliki densitas paling tinggi memiliki kerapatan bahan yang baik didalamnya sehingga laju aliran panas berlangsung secara maksimal. Berbeda dengan spesimen yang memiliki nilai densitas paling rendah, hal ini dikarenakan banyaknya rongga – rongga yang menyebabkan aliran panas terjebak dan menghambat laju aliran panas.

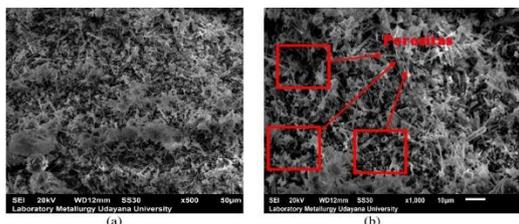
4.3. Hasil Pengamatan Menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM)



Gambar 3. Komposisi Matrik 80% Pembesaran 500x dan 1000x Menggunakan SEM



Gambar 4. Komposisi Matrik 70% Pebesaran 500x dan 1000x Menggunakan SEM



Gambar 5. Komposisi Matrik 80% Pembesaran 500x dan 1000x Menggunakan SEM

Berdasarkan gambar dari hasil pengamatan menggunakan SEM membuktikan dan menguatkan hasil dari pengujian sebelumnya. Pada gambar 3, gambar 4, dan gambar 5 hasil analisa SEM menunjukkan bahwa porositas pada komposit menurun dari komposisi 80% hingga komposisi 70% dan pada komposisi 60% meningkat dengan signifikan. Ini ditunjukkan oleh keberadaan lubang-lubang hitam pada gambar spesimen. Porositas dominan terjadi diantara partikel penguat dengan matrik yang disebabkan oleh kurangnya beban kompaksi. Komposit yang memiliki porositas paling rendah yaitu pada komposit komposisi 70% sedangkan porositas paling banyak dimiliki oleh komposit komposisi 60%. Dari sini dapat

disimpulkan bahwa semakin banyak kandungan SiCw mengakibatkan porositas yang semakin banyak.

5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian pengaruh variasi komposisi pada *ceramic matrix composite* berpenguat sicw/mg, terhadap densitas, kekerasan dan konduktivitas termal memperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- Pengaruh variasi komposisi $Al_2(SO_4)_3$ berpenguat SiCw/Mg melalui proses metalurgi serbuk pada komposisi matriks 80%, 70% dan 60% mengalami peningkatan terhadap densitas dan konduktivitas termal. Hal ini disebabkan karena komposisi persentase penguat magnesium yang meningkat dan kadar SiCw yang menurun maka densitas semakin meningkat. Spesimen yang memiliki densitas paling tinggi memiliki kerapatan bahan yang baik didalamnya sehingga laju aliran panas berlangsung secara maksimal.
- Pengamatan morfologi dari CMC berpenguat SiCw/Mg menggunakan SEM menggunakan pembesaran 500x dan 1000x. Morfologi ini dilakukan dengan pembesaran gambar sebesar 1000x dengan tujuan untuk memperjelas rongga porositas yang terjadi karena nilai porositas berbanding terbalik dengan densitas.

Daftar Pustaka

- [1] Amin, M & Irawan, B., 2010, *Pengaruh Tekanan Kompaksi Dan Suhu Sintering Terhadap Densitas Keramik Lumpur Lapindo*, Prosiding Seminar Nasional Unimus.
- [2] Fransiska, 2008, *Feasibility of real-time detection of abnormality in inter layer dielectric slurry durin chemical mechanical planarization using frictional analysis, Thin Solid Films*. doi: 10.1016/j.tsf.2008.02.047.
- [3] Nurcahyo, W., 2014, *Pembuatan Aluminium Sulfat Dari Clay*. Momentum, Vol. 10, No. 1, April 2014, Hal. 29-33.
- [4] Dowling, N.E., 1993, *Mechanical Behavior of Materials*, Prentice Hall, New Jersey.
- [5] Birkeland., 1984, *Soil and Geomorphology*, Oxford, University Press New York.



I Made Arie Agni Wira Putra telah menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana pada Program Studi Teknik Mesin, pada tahun 2020.

Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan material dan komposit.

Analisa Pengaruh Metode Pembersihan *Core*, Pengeringan *Core*, dan *Bonding Test Block* Pada Uji *Flatwise Sandwich Carbon Epoxy* Dengan *Glass Core*

Kevin Krisna , N.P.G Suardana , C.I.P.K Kencanawati
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Penggunaan komposit sebagai pengganti material logam dalam bidang rekayasa sudah semakin banyak digunakan salah satunya panel komposit dengan struktur sandwich. Core pada komposit sandwich memiliki peranan penting sebagai penopang dari skin yang digunakan. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekuatan tarik flatwise dari variasi yang digunakan beserta pengaruhnya. Pengujian dilakukan adalah uji flatwise (ASTM C297). Hasil uji flatwise dengan nilai tertinggi ada pada variasi pembersihan menggunakan spray MEK, pengeringan menggunakan suhu ruang, dan bonding menggunakan tablepress dengan nilai rata-rata 5,67 MPa. Dari variasi yang digunakan, keseluruhannya memberikan pengaruh pada hasil pengujian.

Kata kunci : komposit sandwich, uji flatwise, sarang lebah

Abstract

The use of composites as a substitute for metal materials in the engineering field is increasingly being used, one of which is composite panels with a sandwich structure. The core of the sandwich composite has an important role as a support for the skin used. This test aims is to determine the flatwise tensile strength value of the variations used and their effects. The test performed was a flatwise test (ASTM C297). The flatwise test results with the highest value are variations in cleaning using MEK spray, drying using room temperature, and bonding using tablepress with an average value of 5.67 MPa. Of the variations used, all of them have an influence on the test results.

Keywords : Sandwich composite, flatwise tensile test, honeycomb core

1. Pendahuluan

Para industriawan melirik penggunaan komposit sebagai produk unggulan karena mampu bersaing dengan logam [1]. Bahan komposit sebagai pengganti material logam dalam bidang rekayasa sudah semakin meluas, tidak hanya dalam bidang transportasi tetapi juga dibidang lainnya seperti properti, arsitektur dan yang lainnya [2].

Akhir-akhir ini, berbagai macam studi tentang struktur ringan sedang dilakukan di dunia [3]. Saat ini, perkembangannya sudah mengarah pada aplikasi panel komposit yang difungsikan sebagai struktur, baik sekunder maupun primer. Bahan komposit yang cocok sebagai struktur adalah komposit struktur sandwich.

Komposit sandwich ini terdiri dari dua lamina komposit (*skin*) yang mengapit *core* di bagian tengahnya [1]. *Core* pada struktur sandwich berfungsi untuk memisahkan, mendukung, dan menstabilkan lapisan permukaan sedemikian rupa sehingga kekakuan lentur yang diinginkan tercapai (SAE International, 2013). Oleh karena itu, jenis material core yang digunakan sangatlah berpengaruh pada komposit sandwich.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekuatan tarik flatwise dan pengaruh dari variasi yang dilakukan pada core komposit sandwich

(*honeycomb core*) dimana variasi pembersihan menggunakan spray udara dan spray MEK (*methylethylketone*), pengeringan menggunakan suhu ruang (didiamkan) dan oven (120°C), dan bonding test block menggunakan autoclave dan tablepress.

2. Dasar Teori

2.1. Sandwich Composite

Istilah struktur sandwich, biasanya berarti struktur dimana saling berikatan antara lapisan permukaan dengan material ringan pada bagian tengahnya [4]. Komposit sandwich bukanlah merupakan material yang memiliki sifat mekanis yang unik melainkan merupakan struktur yang harus dirancang khusus untuk penggunaannya [5]. Struktur sandwich terdiri dari lapisan permukaan, core, dan yang menghubungkan keduanya seperti perekat (*adhesive*) [6].

2.1.1. Honeycomb Core

Honeycomb core disebut juga dengan cellular core atau open cell core. Core honeycomb dapat dibuat dari lembaran tipis atau pita yang dibentuk menyerupai konfigurasi sarang lebah [6].

2.2. Uji Flatwise

Flatwise tensile test digunakan untuk menentukan flatwise tensile strength dari core, bonding core-lapisan permukaan, atau lapisan permukaan dari

sebuah *sandwich panel*. Metode pengujian ini yaitu memberikan pembebanan pada konstruksi *sandwich* dengan gaya tarik uniaksial. Gaya ditransmisikan pada *sandwich* melalui *loading block* yang direkatkan pada lapisan permukaan atau direkatkan secara langsung pada permukaan *core* [7].

Berikut persamaan yang digunakan pada pengujian. Nilai kekuatan flatwise adalah perbandingan antara beban yang diberikan dengan luas penampang dari spesimen hingga terjadinya kegagalan

$$F_z^{ftu} = P_{max} / A \quad (1)$$

Keterangan :

$$F_z^{ftu} = \text{Nilai flatwise maksimum (MPa)}$$

$$P_{max} = \text{Beban Maksimum (N)}$$

$$A = \text{Luas Penampang Spesimen (mm}^2\text{)}$$

Standar deviasi

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}} \quad (2)$$

Keterangan :

$$S = \text{Standar Deviasi}$$

$$\bar{x} = \text{Rata-rata Sampel}$$

$$n = \text{Jumlah Spesimen}$$

Koefisien variasi

$$CV = 100 \times S_{n-1} / \bar{x} \quad (3)$$

3. Metode Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain :

3.1. Alat Penelitian

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

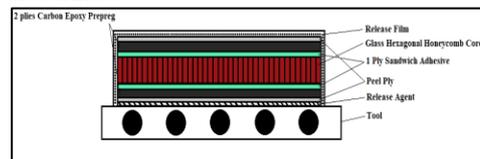
- 1) Alat uji : *Universal testing machine* (Instron 5982) dengan menggunakan ASTM C297 (Flatwise tensile test)
- 2) Alat cetak : Menggunakan cetakan (*tool*) berbentuk datar, kompresor, *autoclave*, *tablepress*, *sandblasting machine*, *ultrasonic machine*, *oven*.
- 3) Alat ukur: Termokopel, *vacuum gauge*, penggaris
- 4) Alat K3: Masker, sarung tangan karet, jas lab.
- 5) Alat bantu: *Cutter*, *base vacuum valve*

3.2. Bahan Penelitian

- 1) *Release agent*
- 2) *Peel ply*
- 3) *Air weave (breather fabric)*
- 4) Nylon vacuum bag
- 5) Vacuum sealant tape
- 6) Loading Block : Logam paduan aluminium 2024-T3
- 7) Skin (2 layer) : Carbon epoxy prepreg (0/90°)
- 8) Solvent: Methyl Ethyl Ketone (MEK)
- 9) Core: Glass Hexagonal Honeycomb Cell (Phenolic Resin)
- 10) Sandwich Adhesive: Film Adhesive
- 11) Bonding Adhesive: Film Adhesive

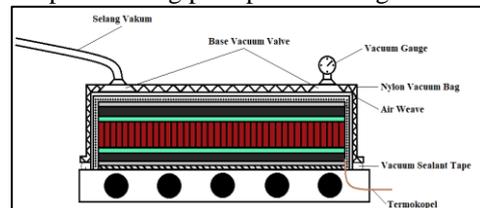
3.3. Pembuatan Spesimen

- 1) Memeriksa bahan dan alat yang diperlukan untuk spesimen *sandwich*.
- 2) *Carbon prepreg* dan *sandwich adhesive* dikeluarkan dari *refrigerator* dan didiamkan pada ruang CCA agar suhunya sama dengan suhu ruang
- 3) *Core* dikeluarkan dari kontainernya dan dipotong sesuai dengan ukuran pemotongannya
- 4) Pemotongan *core*
Core dipotong menggunakan mesin CNC dimana sebelum pemotongan dilakukan permukaan core diberikan skin stick agar tidak terjadi pergeseran saat pemotongan. Core dipotong dengan ukuran 60 cm x 30 cm.
- 5) Pembersihan *core*
Core dibersihkan dengan 2 metode yaitu spray udara dan *MEK*.
 - o Spray Udara: *Core* dibersihkan menggunakan udara dengan kompresor
 - o Spray MEK: *Core* dibersihkan menggunakan *MEK* dengan kompresor selama 1 menit
- 6) Pengerinan *core*
Core dikeringkan dengan 2 metode yaitu suhu ruang dan oven.
 - o Suhu Ruang : *Core* didiamkan pada suhu ruang (ruang CCA) selama 1,5 jam
 - o Oven: *Core* dikeringkan didalam *oven* pada suhu 120°C selama 2 jam. Selama pengeringan, *core* dimasukan kedalam plastik agar tidak terkontaminasi
- 7) *Sandwich panel* dibuat sebanyak 4 buah (sesuai variasi) dengan *manual lay-up* seperti pada gambar berikut.



Gambar 1. Manual lay-up

- 8) Vacuum bagging dilakukan agar udara yang tersisa dapat terbuang pada proses curing.



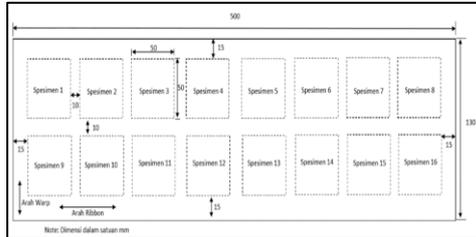
Gambar 2. Vacuum bagging

- 9) Proses curing dilakukan pada suhu 180±5°C selama 120-135 menit dengan heating rate 1-3°C/ menit dan cooling rate maksimum 3°C/ menit sampai 60°C.
- 10) Pelepasan vacuum sealant tape, nylon vacuum bag, breather fabric, release film, dan peel ply (debagging).
- 11) Ultrasonic Inspection

Sandwich panel diperiksa menggunakan mesin ultrasonic untuk memeriksa kembali spesimen mengalami cacat atau tidak.

12) Cutting Spesimen

Setiap sandwich panel dipotong menjadi 16 bagian dimana ukurannya sesuai dengan sketsa pemotongannya.



Gambar 3. Cutting Spesimen

13) Sandblasting Loading Block

Untuk menghasilkan permukaan berpori agar bonding adhesive dapat melekat lebih kuat pada loading block.

14) Spesimen sandwich di lay-up dengan loading block.

15) Vacuum bagging dilakukan kembali sebelum proses curing.

16) Curing (Bonding Test Block)

17) Autoclave
 Dilakukan pada suhu 110-127°C selama 90 menit dengan heating rate 0.7-3.9°C/ menit dan cooling rate maksimum 2.9°C/ menit sampai 50°C

18) Tablepress

Dilakukan pada suhu 120°C selama 90 menit.

19) Debagging dilakukan kembali setelah proses curing dilanjutkan dengan pembersihan spesimen.

4. Hasil dan Pembahasan

Hasil akhir yang didapat setelah pengujian adalah nilai kekuatan tarik flatwise, rata-rata variasi, standar deviasi, koefisien variasi, grafik pengujian, dan gambar hasil uji flatwise.

4.1. Hasil Uji Flatwise

Pengujian ini mengacu pada ASTM C297. Uji flatwise dilakukan dengan cara menarik kedua loading block pada spesimen untuk mendapatkan nilai kekuatan tarik flatwisanya. Berikut adalah salah satu hasil perhitungan kekuatan tarik flatwise pada spesimen C9:

$$\text{Beban Maksimum (N)} = 13299,39 \text{ N}$$

$$\text{Luas Penampang (cm}^2\text{)} = 25 \text{ cm}^2$$

$$F_z^{ftu} = P_{max} / A$$

$$F_z^{ftu} = 13299,39 \text{ N} / 25 \text{ cm}^2$$

$$F_z^{ftu} = 5319756 \text{ Pa}$$

$$F_z^{ftu} = 5,32 \text{ MPa (dikonversi dan dibulatkan)}$$

Setelah dilakukan pengujian, hasil nilai kekuatan tarik flatwise dari setiap spesimen dibuat kedalam bentuk tabel. Berikut adalah hasil dari uji flatwise.

Tabel 1. Hasil Pengujian (Autoclave)

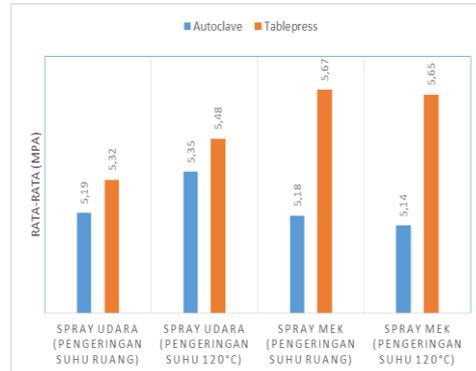
No	Variasi	Kode Spesimen	Beban Maksimum (N)	Nilai Kekuatan Tarik Flatwise (MPa)	Rata-rata Nilai Kekuatan Tarik Flatwise (MPa)	Standar Deviasi	Koefisien Variasi (%)
1	Spray Udara dengan Pengeringan Pada Suhu Ruang	C9	13299,39	5,32	5,19	0,12	2,24
		C11	12647,34	5,06			
		C12	12732,07	5,09			
		C14	13216,72	5,29			
		C15	12951,15	5,18			
2	Spray Udara dengan Pengeringan Pada Suhu 120	D9	13918,58	5,57	5,35	0,14	2,70
		D14	13352,34	5,34			
		D15	13443,45	5,38			
		D16	13046,96	5,22			
		DX	13046,77	5,22			
3	Spray MEK dengan Pengeringan Pada Suhu Ruang	A9	13471,1	5,39	5,18	0,20	3,81
		A11	13214,76	5,29			
		A13	13219,95	5,29			
		A14	12325,39	4,93			
		A15	12545,75	5,02			
4	Spray MEK dengan Pengeringan Pada Suhu 120	B9	12595,5	5,04	5,14	0,11	2,07
		B10	12794,93	5,12			
		B11	12980,28	5,19			
		B12	13236,23	5,29			
		B14	12435,22	5,04			

Tabel 2. Hasil Pengujian (Tablepress)

No	Variasi	Kode Spesimen	Beban Maksimum (N)	Nilai Kekuatan Tarik Flatwise (MPa)	Rata-rata Nilai Kekuatan Tarik Flatwise (MPa)	Standar Deviasi	Koefisien Variasi (%)
1	Spray Udara dengan Pengeringan Pada Suhu Ruang	C1	13856,5	5,54	5,32	0,40	7,44
		C3	12012,95	4,81			
		C6	14592,79	5,84			
		C8	13780,7	5,51			
		CX	12278,32	4,91			
2	Spray Udara dengan Pengeringan Pada Suhu 120	D1	14744,49	5,9	5,48	0,24	4,46
		D4	13208,48	5,28			
		D6	13979,97	5,59			
		D7	13481,3	5,39			
		D8	13078,34	5,23			
3	Spray MEK dengan Pengeringan Pada Suhu Ruang	A1	14077,25	5,63	5,67	0,12	2,04
		A3	13858,37	5,54			
		A4	14246,41	5,7			
		A5	14035,77	5,61			
		A6	14700,76	5,88			
		B1	14888,55	5,96			
4	Spray MEK dengan Pengeringan Pada Suhu 120	B3	13981,54	5,59	5,65	0,16	2,78
		B4	14017,63	5,61			
		B6	13880,33	5,55			
		B8	13841,01	5,54			

Berikut merupakan grafik pengujian untuk metode pembersihan dan pengeringan,

4.4.1 Metode Pembersihan



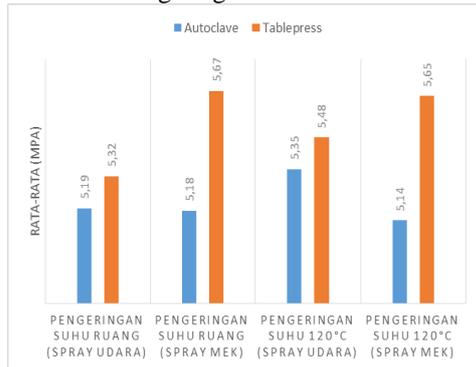
Gambar 4. Pengaruh Spray dan suhu

Pada gambar 4 dimana pembersihan menggunakan spray MEK menghasilkan data tertinggi dibandingkan spray udara namun juga memberikan hasil terendah.

Hasil ini diperkuat dengan jurnal penelitian [9] dimana spesimen yang dibersihkan menggunakan solvent (alkohol) memberikan hasil yang lebih rendah. Hal ini disebabkan karena resin komposit memiliki sifat menyerap cairan sehingga menyebabkan resin komposit pada spesimen (core) mengalami degradasi (cacat).

Ini menandakan bahwa pembersihan menggunakan spray MEK dapat mempengaruhi hasil dari pengujian terutama pada metode pengeringan dan metode bonding yang digunakan.

4.4.2. Metode Pengeringan



Gambar 5. Pengaruh Pengeringan

Pada gambar 5 menunjukkan bahwa core yang dikeringkan pada suhu 120°C menghasilkan peningkatan nilai rata-rata dibandingkan dengan dikeringkan menggunakan suhu ruang.

Hasil ini juga diperkuat dengan jurnal penelitian [8] dimana spesimen yang lebih kering menghasilkan data yang lebih besar. Pengeringan menggunakan suhu ruang kurang efektif digunakan dikarenakan masih memungkinkan adanya sisa uap air/solvent (moisture) yang masih terjebak pada core.

4.4.3 Metode Bonding

Tabel 1 dan 2 memperlihatkan nilai rata-rata yang diperoleh bonding autoclave lebih kecil dibandingkan tablepress namun dari koefisien variasinya menandakan bahwa hasil spesimen bonding autoclave lebih stabil nilainya dibandingkan bonding tablepress dimana jarak antar individunya tidak terlalu besar.

Hal ini dipengaruhi karena adanya perbedaan arah gaya pada proses bondingnya dimana autoclave menggunakan tekanan pada fluida (udara) ke seluruh bagian spesimen sedangkan tablepress menggunakan kontak langsung pada bagian test block spesimen (arah vertikalnya). Dari pengamatan secara visual, adanya excess resin yang berlebih pada permukaan test block menggunakan bonding tablepress menyebabkan resin yang digunakan banyak yang terbuang sehingga memungkinkan adanya transfer gaya yang tidak efektif pada saat pengujian.

5. Kesimpulan

Berdasarkan pemaparan hasil dan pembahasan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Beban maksimum pengujian ini ditunjukkan pada variasi pembersihan menggunakan spray MEK, pengeringan menggunakan suhu ruang, dan bonding menggunakan tablepress dengan nilai rata-rata 5,67 MPa.
- 2) Metode pembersihan menggunakan spray MEK dapat menyebabkan cacat pada spesimen (core) sehingga mempengaruhi hasil data yang didapat. Oleh karena itu, metode pembersihan yang lebih baik digunakan adalah spray udara.
- 3) Core yang dikeringkan pada suhu 120°C menghasilkan peningkatan nilai rata-rata

dibandingkan dengan dikeringkan menggunakan suhu ruang.

- 4) Adanya perbedaan arah gaya pada proses bondingnya dan pengamatan secara visual, spesimen menggunakan autoclave lebih stabil nilainya dibandingkan tablepress.

Daftar Pustaka

- [1] Jamasri, Diharjo, K., & Handiko, G. W. , 2006), *Studi Perlakuan Alkali dan Tebal Core Terhadap Sifat Bending Komposit Sandwich Berpenguat Serat Sawit Dengan Core Kayu Sawit*, Jurnal Sains Materi Indonesia, Indonesian Journal of Materials Science, 8, 75–82.
- [2] Prismanto, G. D., & Irfi'i, M. A., 2016), *Studi Tebal Core Komposit Sandwich Berpenguat Serat E-glass dan Serat Ijuk Terhadap Kekuatan Impact Dengan Matrik Polyester*. Jurnal Teknik Mesin, 04, 281–286.
- [3] Oh, K., Lee, S., Park, H., Kim, Y., & Kong, C., 2007, *Adhesion Properties Investigation of Sandwich Composite Structure With Surface Treatment of Aa 5052 Skin*. 16th International Conference on Composite Materials (ICCM-16), 8-13 July 2007, Kyoto, Japan, 1–4.
- [4] Campbell, F.C., 2010, *Structural Composite Materials*. In ASM International, pp. 629.
- [5] Bitzer, T., 1997. *Honeycomb Technology: Materials, Design, Manufacturing, Applications And Testing*. Chapman & Hall.
- [6] SAE International, 2013, *Composite Materials Handbook : Structural Sandwich Composites*, Vol. 6, pp. 1–353.
- [7] ASTM Standard, 2013, *C 297/C 297M Standard Test Method for Flatwise Tensile Strength of Sandwich Constructions*. ASTM International, Vol. 04.
- [8] Kim, G., & Sterkenburg, R., 2019, *Investigating The Effects Aviation Fluids Have On The Flatwise Compressive Strength of Nomex V Honeycomb Core Material*. Sandwich Structure & Materials, pp.1–18.
- [9] Kumala, Y. R., Prasasti, A., & Saputra, C. S., 2020, *Perbedaan Kekuatan Tekan Resin Komposit Nanofiller Pada Perendaman Obat Kumur Beralkohol dan Non Alkohol*. Dentistry, Vol.4, No.1, pp. 293–301.



Kevin Krisna menyelesaikan studi S1 di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Bali tahun 2020. Penelitian yang diminati ada pada karakteristik mekanik komposit, dan segala hal yang berhubungan dengan komposit.

Keausan Baja Karbon Sedang Akibat Variasi Beban Gesek Pada Suhu Permukaan Kontak 300°C

Dewa Made Riswandha Putra, I Made Widiyarta dan I Made Parwata
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Pemanfaatan baja sebagai bahan komponen sebuah mesin sudah sangat umum, terutama komponen yang menerima beban cukup besar, mengalami kontak dan gesekan dalam operasinya. Pemilihan baja sebagai bahan komponen tersebut karena baja memiliki kekuatan dan ketahanan aus yang baik sehingga umur pemakaian komponen tersebut dapat cukup lama. Kegagalan yang terjadi pada komponen yang mengalami kontak tersebut umumnya berupa kegagalan aus. Keausan yang terjadi ditunjukkan dengan hilangnya material dari permukaan benda dan bila semakin banyak permukaan mengalami aus, maka permukaan benda akan mengalami perubahan bentuk. Selama dua komponen mengalami proses sliding, panas akan muncul dipermukaan kontak akibat gesekan. Bila panas yang timbul akibat beban gesek tersebut cukup tinggi, panas tersebut mungkin dapat menurunkan kekuatan material. Hal ini dapat mempercepat kegagalan terjadi pada material tersebut, sehingga keausan pada material tersebut akan meningkat. Beban gesek yang cukup besar ditambah dengan melemahnya kekuatan material akibat panas yang timbul akan menyebabkan kegagalan permukaan material terjadi lebih cepat lagi, dan tentunya akan meningkatkan keausan. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian keausan baja karbon sedang pada suhu permukaan 300°C dengan variasi beban yaitu 25 Newton, 30 Newton dan 35 Newton. Nilai keausan material baja ST60 dengan naiknya beban pada rentang pembebanan 25N, 30N dan 35N masih sangat kecil bahkan mengalami penurunan dengan naiknya beban. Hal ini mungkin diakibatkan karena terbentuknya lapisan oksida pada permukaan spesimen (dalam bentuk Fe_3O_4 dan Fe_2O_3) dan juga pembebanan yang diberikan tidak cukup besar untuk mengikis lapisan permukaan spesimen uji. Mekanisme aus yang terjadi pada beban 25N hingga 35N yaitu keausan oksidasi, keausan abrasif dan keausan lelah.

Kata kunci: keausan, baja karbon sedang ST 60, variasi suhu, variasi beban

Abstract

The use of steel as a component material for a machine is very common, especially components that receive a large load, experience contact and friction in their operation. The choice of steel as a component material is because of steel has good strength and wear resistance so that the service life of these components can be quite long. Failures that occur in components that have contact are generally in the form of wear failure. The wear that occurs is indicated by the loss of material from the surface of the object and when more and more surface material is worn, the surface of the object will change shape. As long as the two components undergo a sliding process, heat will appear on the surface of the contact due to friction. If the heat generated by the frictional load is high enough, it may reduce the strength of the material. This can accelerate failure to occur in the material, so that the wear on the material will increase. The large frictional load coupled with the weakening of the material strength due to the heat that arises will cause the material surface to fail to occur even faster, and of course will increase wear. In this study, a medium carbon steel wear test was carried out at a surface temperature of 300 °C with a load variation, namely 25 Newton, 30 Newton and 35 Newton. The value of ST60 steel material wear with increasing loads in the 25N, 30N and 35N loading ranges is still very small and even decreases with increasing loads. This may be due to the formation of an oxide layer on the surface of the specimen (in the form of Fe_3O_4 and Fe_2O_3) and also the loading applied is not large enough to erode the surface layer of the test specimen. The wear mechanisms that occur at 25N to 35N loads are oxidation wear, abrasive wear and fatigue wear.

Key words: wear, medium carbon steel ST 60, temperature variations, load variation

1. Pendahuluan

Pemanfaatan baja sebagai bahan komponen sebuah mesin sudah sangat umum, terutama komponen yang menerima beban cukup besar, mengalami kontak dan gesekan dalam operasinya. Pemilihan baja sebagai bahan komponen tersebut karena baja memiliki kekuatan dan ketahanan aus yang baik sehingga umur pemakaian komponen tersebut dapat cukup lama. Sebagai contoh proses perlakuan panas pada baja adalah pengerasan

(hardening), yaitu proses pemanasan baja hingga temperatur di area krusial atau diatas area krusial dilanjutkan dengan pendinginan yang cepat dinamakan *quench* [1]. Aus adalah proses kegagalan permukaan material yang dapat mempengaruhi kinerja material karena perubahan profil permukaan [2]. Selama dua komponen mengalami proses sliding, panas akan muncul dipermukaan kontak akibat gesekan. Bila panas yang timbul akibat beban gesek tersebut cukup tinggi, panas tersebut mungkin dapat menurunkan kekuatan material. Baja karbon diketahui dapat

mengalami perubahan sifat mekanik menjadi lebih lemah bila baja karbon berada pada suhu diatas 250°C [3]. Bila baja karbon berada pada kondisi di atas suhu tersebut, kegagalan dapat terjadi pada baja karbon akan semakin cepat, sehingga keausan pada material tersebut akan meningkat. Beban gesek yang cukup besar ditambah dengan melemahnya kekuatan material akibat panas yang timbul akan menyebabkan kegagalan permukaan material terjadi lebih cepat lagi, dan tentunya akan meningkatkan keausan.

Dalam penelitian ini dikaji bagaimana keausan terjadi pada baja karbon pada suhu permukaan 300°C dengan memberi beban gesek yang bervariasi.

Beberapa batasan yang dimaksud adalah:

1. Kontak yang terjadi adalah kering dan partikel debu atau benda asing pada saat melakukan pengujian dianggap tidak ada.
2. Sifat mekanik material dapat diasumsikan sama.

2. Dasar Teori

2.1 Klasifikasi Baja

Baja (steel) adalah suatu produk besi yang mempunyai kadar karbon berkisar 1,7%. Produk ini telah memenuhi syarat sebagai baja karbon (carbon steel) [4]. Baja dan Besi saat ini menempati peringkat pertama logam yang paling banyak pemakaiannya, besi dan baja mempunyai kandungan unsur utama yang sama yaitu Fe, hanya kadar karbon yang membedakan besi dan baja, penggunaan besi dan baja dewasa ini sangat luas mulai dari peralatan yang sepele seperti jarum, peniti sampai alat – alat dan mesin berat [5]. Baja Karbon (*carbon steel*), dibagi menjadi 3 yaitu :

1. Baja karbon rendah (*low carbon steel*) dengan kandungan karbon 0,05 % - 0,30 % C. Sifatnya sangat mudah ditempa dan mudah dimesin. Penggunaannya: 0,05 % - 0,20 % C : *automobile bodies, buildings, pipes, chains rivets, screws, nails*. 0,20% - 0,30 % C: *gears, shafts, forgings, bridges, buildings*.
2. Baja karbon menengah (*medium carbon steel*) dengan kandungan karbon 0,30 % - 0,60 % C. Mempunyai kekuatan lebih tinggi daripada baja karbon rendah. Sifatnya susah untuk dibengkokkan, dilas, dan dipotong. Penggunaan: 0,30 % - 0,40 % C : *connecting rods, crank pins, axles*. 0,40 % - 0,50 % C *car axles, crankshafts, rails, boiler, auger bits, screwdrivers*. 0,50 % - 0,60 % C : *hammers dan sledges*.
3. Baja karbon tinggi (*high carbon steel*). Sifatnya sulit dibengkokkan, dilas dan dipotong. Kandungan 0,60 % - 1,50 % C. Penggunaan : *screwdriver, blacksmith hammers, tables knives, drills.tools for turning brass anf wood, reamers, tools for turning hard metal, saw for cutting steel, wire drawing dies, fine cutters*.

2.2 Keausan

Keausan (*wear*) ialah terkikisnya materi dari permukaan benda padat sebagai efek dari gesekan mekanik [6]. Definisi lain dari keausan adalah

lenyapnya bahan dari permukaan atau perpindahan bahan dari permukaannya ke bagian yang berbeda atau Bergeraknya bahan pada permukaan [7]. Keausan adalah hilangnya massa atau partikel permukaan suatu material seperti serbuk, yang disebabkan karena kontak mekanik pada dua benda dan lebih, yang saling kontak dan bergerak relatif [8]. Pada kondisi rel dan roda yang saling kontak, mengalami interaksi gerak sliding dan dibebani mengakibatkan regangan geser, proses inilah yang mengakibatkan kegagalan aus. Rekayasa permukaan material telah banyak dilakukan untuk meningkatkan ketahanan aus, sehingga umur rel menjadi lebih panjang dan dapat terminimalisir dari kemungkinan aus.

3.1 Metode Penelitian

Uji keausan akan dilakukan dengan metode pengujian keausan *ball on flat* sesuai dengan standar ASTM G133-05 (2010). Tahap-tahap pengujiannya adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan dan memeriksa alat uji yang akan digunakan.
2. Menyiapkan spesimen pengujian. Dan pastikan kekasarnya seragam untuk semua spesimen.
3. Melakukan penimbangan awal pada spesimen sebelum proses pengujian keausan dilakukan.
4. Kecepatan putar pada 300 rpm dan panjang langkah 10 mm.
5. Melakukan pemasangan spesimen pada landasan dan bola baja yang diatur pada pembebanan 25N, 30N, dan 35N.
6. Atur suhu permukaan kontak hingga mencapai 30°C, 100°C, 200°C, dan 300°C
7. Setelah semua persiapan selesai, dilakukan pengujian keausan dan pengambilan data jarak tempuh yang digunakan.
8. Setelah selesai, lepaskan spesimen dan bersihkan menggunakan wash bensin agar material sisa yang menempel terlepas.
9. Timbang berat spesimen setelah pengujian.
10. Ulangi langkah 5 sampai 9 pada spesimen berikutnya.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Hasil Uji Keausan

Dalam penelitian ini juga dilakukan uji keausan pada baja karbon sedang ST 60 dengan rentang suhu pengujian 300°C.

Tabel 1 Tabel Pengambilan Data Uji Keausan dengan suhu permukaan 300°C, beban bervariasi W= 25, 30 dan 35 N; L = 10 mm; f = 5 Hz

Beban (N)	25	30	35
Keausan (gr/m)	0.00006	0.00005	0.00003

Tabel 1 menunjukkan hasil uji keausan baja karbon sedang ST60 pada suhu permukaan kontak 300°C dengan variasi beban 25N, 30N dan 35N dengan 5000 siklus pembebanan (\pm 16 menit 40 detik). Pada pembebanan 25N keausan rata-rata baja

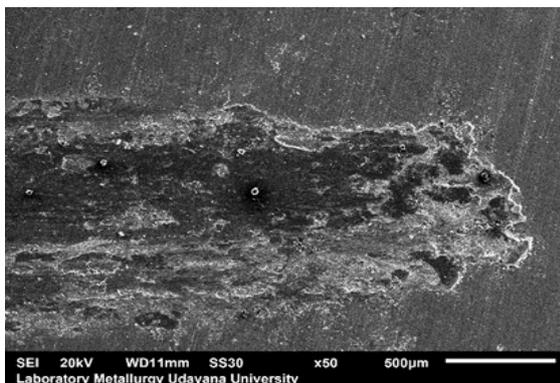
karbon sedang ST60 bernilai 0.00006 gr/m. Pada pembebanan 30N keausan rata-rata baja karbon sedang ST60 bernilai 0.00005 gr/m. Pada pembebanan 35N keausan rata-rata baja karbon sedang ST60 bernilai 0.00003 gr/m.



Gambar 1. Grafik rata-rata keausan baja karbon sedang ST60 pada beban 25, 30 dan 35 N dengan suhu permukaan 300°C.

Gambar 1 merupakan grafik gambaran dari tabel 1 yang menunjukkan nilai keausan rata-rata baja karbon sedang ST60. Semakin meningkatnya beban, tidak menjamin nilai keausan rata-rata semakin meningkat atau menurun. Dalam rentang beban 25 N hingga 35 N, material baja karbon sedang ST60 memiliki nilai keausan dengan *trending* menurun.

4.2 Hasil Uji SEM

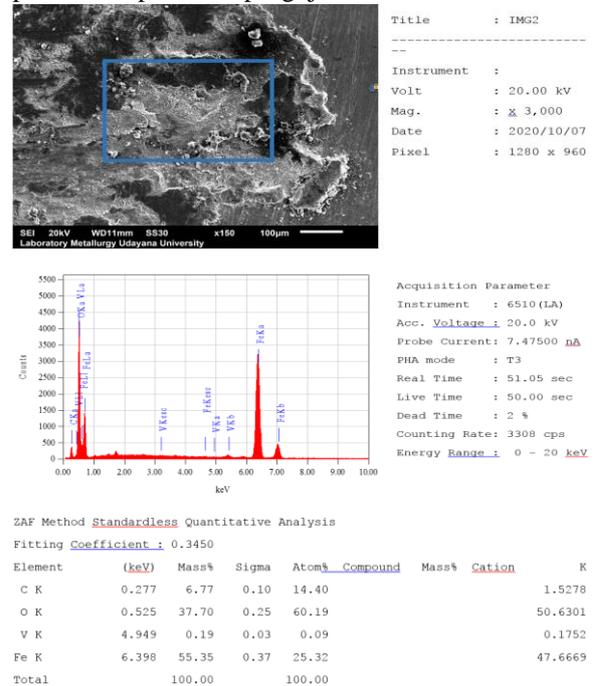


Gambar 2 SEM hasil uji keausan baja karbon sedang ST60 dengan beban 35 N pada suhu 300°C pembesara 50x.

Gambar 2 merepresentasikan hasil SEM pada baja ST60 hasil uji aus dengan beban 35 N pada suhu permukaan 300°C. Terlihat adanya jejak keausan yang sangat jelas. Jejak keausan berupa goresan-goresan atau flek-flek kecil, dimana lapisan material di permukaan terlihat terkompresi dan mengalami deformasi geser ke arah gaya geser, hal ini menunjukkan bahwa baja ST60 bersifat ulet. Inisiasi keausan dimulai dari retakan pada lapisan permukaan akibat tekanan dan gaya geser yang kemudian terlepas dari permukaan berupa partikel aus. Keausan yang terjadi pada suhu 300°C dapat di golongkan sebagai keausan abrasif dan oksida.

Gambar 3 menunjukkan hasil EDS pada permukaan hasil uji keausan baja karbon sedang ST60 dengan beban 35 N pada suhu permukaan kontak 300°C. Berdasarkan data tersebut terdapat

unsur O sebesar 37,70% dan Fe sebesar 55,35 % pada area pengamatan. Hal itu menunjukkan terdapat lapisan oksida yang terbentuk selama proses pemanasan pada saat pengujian aus.



Gambar 3. EDS hasil uji aus dengan beban 35 N pada Suhu 300°C

Ketika suhu di bawah 570°C, secara termodinamika FeO tidak stabil, lapisan oksida hanya terdapat dalam bentuk Fe₃O₄ dan Fe₂O₃. Kemungkinan lapisan oksida permukaan baja karbon sedang ST60 pada pengujian 100°C hingga 300°C berada dalam bentuk Fe₃O₄ dan Fe₂O₃. Munculnya lapisan oksida dan ketebalan lapisan oksida tidak dapat dikontrol sehingga berpengaruh terhadap laju keausan tidak terprediksi, lapisan oksida yang masih melekat pada permukaan aus berperan dalam peningkatan massa spesimen uji setelah dilakukannya proses uji keausan. Akibat retakan mikro maupun makro, oksigen akan masuk melalui retakan lapisan oksida dan kemudian mengoksidasi baja karbon. Lapisan oksida yang tebal akan memproteksi baja karbon dari lapisan oksida berikutnya. Lapisan oksida juga dapat sebagai penghalang terjadinya kontak langsung antara material indentor dan material spesimen uji, sehingga dapat berfungsi sebagai penghambat terjadinya keausan pada material.

4.3 Pembahasan

Setelah dilakukan pengamatan SEM terlihat semakin tinggi proses pemanasan semakin banyak juga area gelap yang terlihat pada foto SEM, terlihat jelas keausan pada hasil pengamatan SEM baja karbon sedang ST60 lebih kecil. Hal ini diakibatkan oleh munculnya lapisan oksida pada permukaan baja karbon sedang ST60 dalam bentuk Fe₃O₄ dan Fe₂O₃. Pembebanan pada proses uji keausan belum cukup untuk mengikis permukaan baja karbon sedang ST60 karena sebagian besar keausan yang terjadi

kemungkinan berasal dari pengikisan lapisan oksida yang muncul saat proses pemanasan spesimen. Lapisan oksida juga dapat menurunkan koefisien gesek (f_s) yang berperan menjadi lapisan pembatas diantara indenter dan spesimen, dan juga mempunyai sifat yang lebih keras. Munculnya lapisan oksida pada saat proses pemanasan terjadi secara alamiah sehingga tidak dapat dikontrol. Melalui proses EDS dapat dibuktikan kemunculan unsur kimia Fe dan unsur kimia O, persentasenya cukup tinggi. Terbentuknya lapisan oksida di atas permukaan baja karbon sedang ST60 dapat melindungi spesimen dari keausan pada uji aus dengan suhu 300°C.

Uji keausan versi *ball on flat* dengan langkah bolak-balik terindikasi permukaan baja karbon sedang ST60 telah menerima beban berulang-ulang yang kemungkinan telah terjadi mekanisme aus leleh. Pada proses pengujian suhu permukaan kontak 300°C kemungkinan tidak menyebabkan terjadinya mekanisme keausan leleh dikarenakan titik lebur baja karbon sedang ST60 lebih tinggi dari 1000°C. Dalam penelitian ini dapat kita simpulkan bahwa keausan yang terjadi pada baja karbon sedang ST60 adalah keausan abrasif dan keausan oksida.

5. Kesimpulan

Secara umum, nilai keausan material baja ST60 dengan naiknya beban pada rentang pembebanan 25N, 30N dan 35N masih sangat kecil bahkan mengalami penurunan dengan naiknya beban. Hal ini mungkin diakibatkan karena terbentuknya lapisan oksida pada permukaan spesimen (dalam bentuk Fe_3O_4 dan Fe_2O_3) dan juga pembebanan yang diberikan tidak cukup besar untuk mengikis lapisan permukaan spesimen uji. Keausan yang relatif kecil ini berasal dari terkikisnya lapisan oksida yang timbul pada saat proses pemanasan spesimen uji. Dan juga lapisan oksida dapat menurunkan koefisien gesek (f_s) dan juga dapat berperan sebagai pembatas terjadinya kontak langsung antara material bola indenter dan spesimen yang mungkin berperan dalam menurunkan keausan. Lapisan oksida yang bersifat lebih keras dan mengakibatkan terkikisnya lapisan oksida terlebih dahulu dan memerlukan waktu untuk mengikis seluruh lapisan oksida sebelum lapisan permukaan kontak spesimen uji mulai tergerus. Mekanisme aus yang terjadi pada beban 25N hingga 35N yaitu keausan oksidasi, keausan abrasif dan keausan leleh.

Daftar Pustaka

- [1] Djafri Sriati, 1987, *Metalurgi Mekanik, Terjemahan dari Mechanical Metallurgy*. Erlangga, Jakarta.
- [2] Dwipayana, 2018, *Mekanisme dan laju aus lapisan Ni-Cr akibat gesekan dengan perubahan suhu permukaan kontak*, Tesis Program Studi Mesin Pascasarjana Universitas Udayana.

- [3] Jean Marc Franssen dan Pala Vila Real, 2012, *Carbon Steel Properties at Elevated Temperature*, European Convention for Constructional Steelwork, ECCS.
- [4] Jensen dan Chenoweth, 1992, *Kekuatan Bahan Terapan*, Erlangga, Jakarta.
- [5] ASM handbook, 1993, *Properties and Selection ; iron Steel and Hidup performance alloys*, Metals handbook volume 1, pp.329.
- [6] Rabinowicz, E., 1995, *Friction and wear of material*, John Willey & sons, Inc.Singapore.
- [7] Almen, J.O., 1950, *Mechanical Wear (ed. J.T Burnwell)*, American Society for Metals, pp. 229-288.
- [8] Dapotan Ranton, I Made Widiyarta, I Made Parwata, 2017, *Keausan Lapisan Nikel Tungsten Pada Baja Karbon Sedang Akibat Beban Gelinding Luncur Dengan Variasi Tebal Lapisan*, Jurnal Ilmiah TEKNIK DESAIN MEKANIKA Vol.6 No.1, pp. 132-137.



Kajian Eksperimen Pola Aliran Udara 2-D yang Melintasi Kendaraan Model

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

Abstrak

Aliran udara melintasi bodi kendaraan dapat mempengaruhi fenomena aliran yang terjadi, seperti terbentuk *back flow* dan *wake* akibat dari separasi aliran. Pola aliran udara dan distribusi tekanan statis pada kontur dapat terbentuk akibat dari aliran yang melintasi bodi kendaraan, analisis pola aliran dan distribusi tekanan akan menjadi lebih kompleks terhadap bentuk bodi yang berbeda. Penelitian visualisasi pola aliran udara yang melintasi bodi kendaraan dan distribusi tekanan statis pada kontur bodi dilakukan secara eksperimen, pengujian dilakukan di *wind tunnel*, dan diuji pada kecepatan udara 5,05 m/s. Bentuk bodi model kendaraan yang di gunakan adalah tipe *box*, *sedan* dan *sport*. Visualisasi pola aliran menggunakan media asap (*smoke machine*) dan distribusi tekanan statis diukur menggunakan *inclined manometer*. Separasi aliran akibat dari *blockage mass* pada model kendaraan *box* terjadi pada rasio $x/l = 0,12$, untuk model kendaraan *sedan* terjadi pada rasio $x/l = 0,25$. Separasi aliran akibat dari *back flow* pada model kendaraan *sedan* terjadi pada rasio $x/l = 0,77$, untuk model kendaraan *sport* terjadi pada rasio $x/l = 1$. Stagnasi aliran terjadi pada masing-masing model kendaraan pada rasio $x/l = 0$ dengan nilai $C_p = 1$. Dari hasil visualisasi, separasi aliran pada model kendaraan *box* terjadi lebih awal dibandingkan dengan model kendaraan *sedan* dan *sport*. Bentuk bodi yang lebih aerodinamis membuat aliran yang melintasi bodi lebih sedikit mengalami gangguan.

Kata kunci: pola aliran udara, titik separasi, titik stagnasi, distribusi tekanan statis, koefisien tekanan

Abstract

External flow cross over the vehicle body, can be affect the flow phenomena, such as *back flow* and *wake* consequence flow separation. The air flow pattern and static pressure distribution can be shaped from the result of flow cross over the vehicle body, analysis of air flow pattern and static pressure distribution will difference to diverge body geometry. The research on visualization of air flow pattern cross over vehicle body and static pressure distribution body contour conducted an experiment, testing is carried in a *wind tunnel* and tested at velocity 5.05 m/s. The body geometry used vehicle *box* type, *sedan* and *sport*. Air flow pattern visualization by *smoke media* and static pressure measured used *inclined manometer*. Flow separation due to *blockage mass* at *box* vehicle model had in ratio $x/l = 0.12$, for *sedan* vehicle model had in ratio $x/l = 0.25$. Separation due to *back flow* had in *sedan* vehicle model at ratio $x/l = 0.77$, *sport* vehicle model had in ratio $x/l = 1$. Flow stagnation had in each vehicle model at ratio $x/l = 0$, with C_p value = 1. From result of visualization, flow separation at *box* vehicle model had in more beginning just than *sedan* vehicle model and *sport*. a more aerodynamics body shape makes the flow less disturbed.

Keywords: air flow pattern, separation point, stagnation point, static pressure distribution, pressure coefficient.

1. Pendahuluan

Fenomena aerodinamis terjadi pada kendaraan disebabkan gerakan relatif udara sepanjang bodi kendaraan. Titik-titik sepanjang gerakan relatif dari udara di hubungkan satu dengan yang lainnya akan membentuk garis aliran (*streamline*). *Streamline* adalah garis aliran yang sedemikian rupa dalam sebuah medan kecepatan, dengan demikian *streamline* akan membentuk pola aliran udara pada sekeliling kendaraan, *streamline* pada posisi jauh dari bodi kendaraan membentuk pola aliran sejajar dan tidak terganggu, sedangkan *streamline* sekitar bodi kendaraan memiliki pola aliran sangat kompleks akibat dari bentuk bodi, sehingga disekeliling bodi kendaraan terjadi gangguan aliran udara [2].

Aliran eksternal yang melintasi suatu bodi kendaraan berpengaruh terhadap fenomena aliran yang terjadi seperti terbentuknya *wake*, *back flow* akibat dari separasi aliran dan peningkatan nilai tekanan statis pada kontur bodi, dengan demikian aliran eksternal melintasi suatu bodi dapat

membentuk pola aliran udara dan distribusi tekanan statis pada kontur bodi kendaraan [1].

Dalam hal ini adapun permasalahan yang akan dikaji, yaitu: bagaimana pola aliran udara 2-D dan distribusi tekanan statis kontur bodi pada masing-masing model kendaraan uji.

Beberapa batasan ditetapkan dalam penelitian ini meliputi: Fluida diasumsikan dalam kondisi *steady state*, *steady flow*, *incompressible flow*, dan *uniform* pada sisi *up stream*. Model kendaraan yang digunakan adalah model *box*, model *sedan*, dan model *sport*. Kecepatan udara di *wind tunnel* dijaga konstan 5,05 m/s dan temperatur ruang pengujian di jaga konstan. Pengukuran tekanan statis diambil sebanyak 30 titik di masing-masing model kendaraan uji dan tekanan di ambil *upper side* bodi kendaraan uji.

2. Dasar Teori

Aliran udara mengalir pada suatu benda terjadi lapisan-lapisan udara yang rata serta sejajar dengan

permukaan benda, maka aliran yang demikian disebut aliran udara laminar. Aliran laminar ini juga terjadi *boundary layer*, sehingga kecepatan aliran udara dekat dengan permukaan benda lebih kecil dibandingkan dengan kecepatan udara pada titik yang lebih jauh dari benda. Dalam *boundary layer* pengaruh viskositas relatif besar sehingga profil kecepatan tidak *uniform*. Diluar *boundary layer* tidak ada pengaruh viskositas sehingga aliran dapat dinyatakan *inviscid flow/fluid non viscous* [3].

Aliran laminar dan turbulen dapat dinyatakan dengan bilangan Reynolds yang merupakan perbandingan gaya inersia terhadap gaya geser [2].

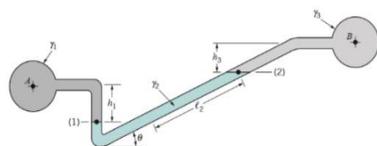
Fluida mengalir memiliki properti seperti: tekanan statis dan tekanan dinamis. Tekanan statis adalah tekanan termodinamika aktual dari fluida relatif statis terhadap fluida yang mengalir, tekanan dinamis adalah kuantiti dari energi kinetic fluida per unit volume. Tekanan dinamis dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [1]:

$$q_{\infty} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \quad (1)$$

Koefisien tekanan merupakan bilangan tak berdimensi yaitu selisih antara tekanan statis pada kontur bodi dengan tekanan statis *freestream*, dibagi tekanan dinamis. Koefisien tekanan (C_p) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [1]:

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

Gambar 1 menunjukkan skema *inclined manometer* yaitu alat ukur yang digunakan untuk mengukur perubahan tekanan yang relatif kecil dengan akurat. Perpindahan cairan dari titik awal menuju ke titik akhir (ΔL) pada *inclined manometer* merupakan jarak perpindahan cairan. Perubahan ketinggian cairan didapatkan dari hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan yaitu: $H = L \cdot \sin\theta$. berikut adalah gambar skema *inclined manometer* [2]:



Gambar 1. Skema alat ukur *inclined manometer*
Tekanan udara pada *inclined manometer* didapatkan dari persamaan berikut:

$$P_u = \rho_u \cdot g \cdot \frac{S_{g_m} \cdot h_m}{S_{g_u}} \quad (3)$$

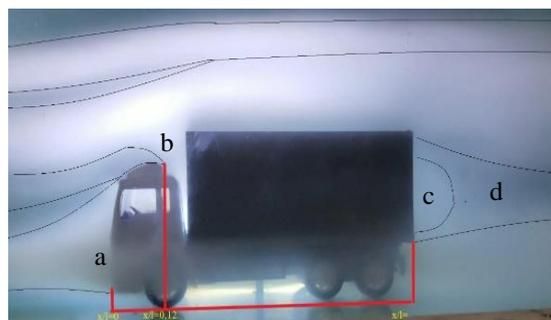
3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan cara eksperimen dan pengujian dilakukan di *wind tunnel* dengan di uji pada kecepatan udara konstan yaitu 5,05m/s. Bodi yang digunakan adalah model kendaraan tipe box, tipe sedan, dan tipe sport. Visualisasi pola aliran udara menggunakan media asap dan distribusi tekanan statis diukur menggunakan *inclined manometer*.

Data diambil saat penelitian adalah: kecepatan udara, temperatur udara, video visualisasi pola aliran udara pada masing-masing model kendaraan dan data

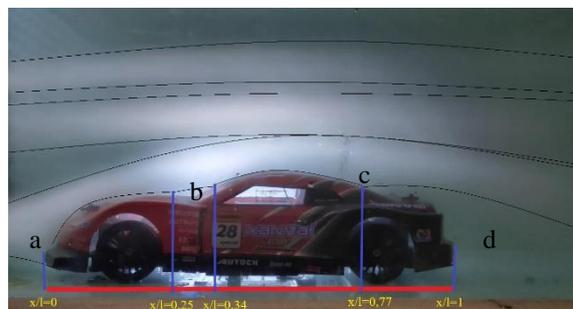
perpindahan jarak cairan (ΔL) pada *inclined tube manometer*. Data yang di dapatkan dari hasil pengolahan data pengujian awal adalah: mengolah video visualisasi menjadi gambar visualisasi pola aliran udara, bilangan Reynolds, tekanan dinamis *freestream*, tekanan statis *freestream*, tekanan statis kontur lokal dan koefisien tekanan (C_p).

4. Hasil dan Pembahasan Visualisasi Pola Aliran Udara Pada Model Kendaraan Box, Sedan dan Sport.



Gambar 2. Pola aliran udara pada model box

Gambar 2 adalah visualisasi pola aliran udara pada model kendaraan box. Titik a adalah daerah stagnasi aliran fluida dengan kecepatan udara pada titik a adalah 0 m/s. Fluida dari titik a bergerak menuju ke titik b, dimana titik b terjadi separasi aliran akibat *blockage mass* pada rasio $x/l = 0,12$. Aliran yang terseparasi trus bergerak menuju kearah *down stream*. Pada titik c terjadi fenomena *vortex* dan *wake* (daerah bertekanan rendah) terjadi pada titik d.



Gambar 3. Pola Aliran Udara Pada Model Sedan

Gambar 3 adalah hasil visualisasi pola aliran udara pada model kendaraan sedan. Titik a adalah daerah stagnasi aliran udara terjadi pada ratio $x/l = 0$. Dari titik a udara bergerak menuju ke titik b, dimana titik b terjadi separasi aliran akibat *blockage mass* pada rasio $x/l = 0$. Aliran yang terseparasi bergerak menuju kearah *down stream* dan kembali terseparasi akibat dari *back flow* terjadi pada rasio $x/l = 0,77$. Titik d adalah daerah *wake* (daerah bertekanan rendah) terjadi di belakang model kendaraan sedan.

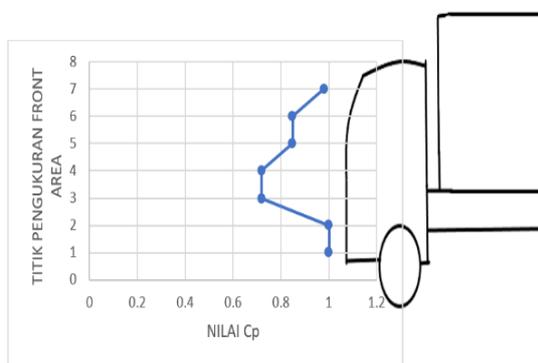
Gambar 4 adalah hasil visualisasi pola aliran udara pada model kendaraan sport. Titik a adalah titik stagnasi aliran terjadi pada rasio $x/l = 0$. Udara dari titik a bergerak menuju kearah *down stream*

sampai pada rasio $x/l= 1$ aliran terjadi separasi akibat *back flow*. Titik d terjadi *wake* (daerah bertekanan rendah).

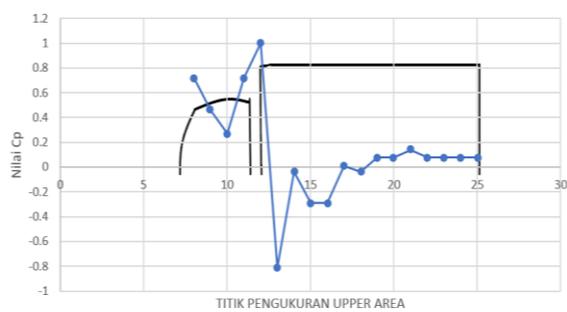


Gambar 4. Pola Aliran Udara Pada Model Sport.

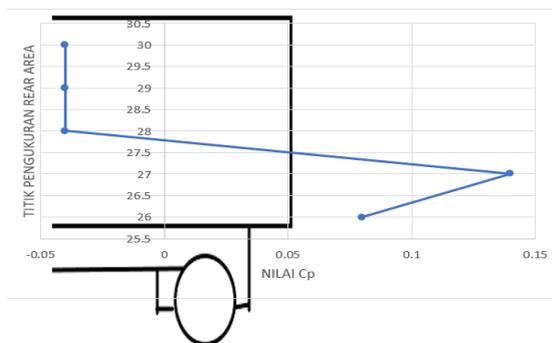
4.1 Analisa Grafik Koefisien Tekanan (Cp) Pada Model Kendaraan Box, Sedan, Sport dan Grafik Perbandingan.



Gambar 5. Grafik distribusi Cp Upper area model kendaraan box

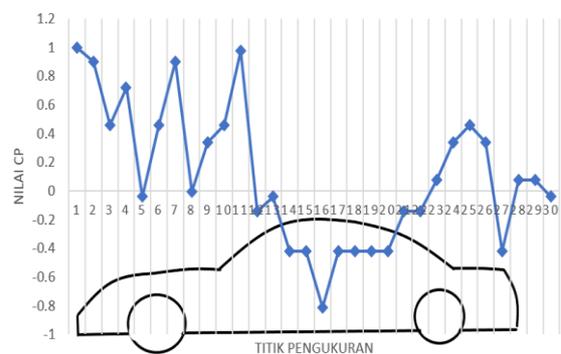


Gambar 6. Grafik distribusi Cp pada model kendaraan box



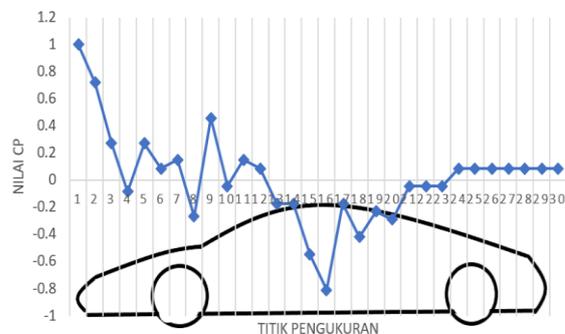
Gambar 7. Grafik distribusi Cp pada rear area model kendaraan box

Gambar 5 adalah grafik distribusi nilai cp area depan pada model kendaraan box, nilai Cp pada area depan (zona stagnasi) tidak semua = 1 hal tersebut akibat dari masa yang mengumpul diarea depan model kendaraan atau terjadi *forward bound vortex*. Gambar 6 adalah grafik distribusi Cp pada model kendaraan box di *upper area* (area atas). Aliran kembali terjadi stagnasi pada titik pengukuran tekanan nomer 12 yaitu pada rasio $x/l= 0,24$ dengan nilai $Cp=1$. Nilai Cp menurun drastis terjadi pada titik pengukuran tekanan nomer 13 yaitu pada rasio $x/l= 0,30$ dengan nilai $CP = -0,81$. Gambar 7 adalah grafik distribusi Cp pada belakang model kendaraan box. Nilai Cp yang rendah di belakang model kendaraan mengakibatkan terjadi fenomena *vortex* dan *wake*.



Gambar 8. Grafik distribusi Cp pada model kendaraan sedan

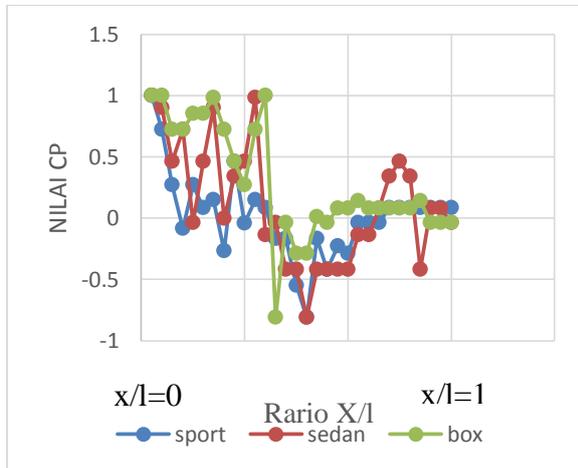
Gambar 8 menunjukkan grafik distribusi Cp pada model kendaraan sedan. Stagnasi aliran udara pada model kendaraan sedan terjadi pada rasio $x/l= 0$ dengan nilai $Cp = 1$ dan nilai tekanan statis kontur tertinggi. Penurunan nilai Cp hingga mencapai nilai Cp terendah yaitu: $-0,81$ terjadi rasio $x/l= 0,55$ dan nilai tekanan statis terendah. Nilai Cp kembali meningkat menuju kearah positif dan diikuti dengan meningkatnya nilai tekanan statis pada kontur bodi, dengan meningkatnya nilai Cp maka terjadi fenomena *back flow* (aliran balik), akibat dari *back flow* aliran terseparasi dari kontur bodi kendaraan.



Gambar 9. Grafik distribusi Cp pada model kendaraan sport.

Gambar 9 menunjukkan grafik distribusi Cp pada model kendaraan sport. Stagnasi aliran terjadi pada model kendaraan sport pada rasio $x/l= 0$ dengan nilai

$C_p = 1$ dengan nilai tekanan statis tertinggi dan kecepatan udara 0 m/s. Nilai C_p mengalami penurunan diikuti penurunan nilai tekanan statis pada kontur bodi sampai nilai C_p paling rendah yaitu pada rasio $x/l = 0,43$ dengan nilai $C_p = -0,81$. Nilai C_p mengalami peningkatan menuju kearah positif sampai nilai C_p menjadi konstan yaitu: dari titik pengukuran 24 sampai titik pengukuran 30.



Gambar 10. Grafik distribusi perbandingan C_p .

Dari Gambar 10 menunjukkan grafik distribusi C_p yang dibandingkan dengan rasio x/l , stagnasi aliran di masing-masing model kendaraan terjadi pada rasio $x/l = 0$. Fluktuasi nilai C_p pada model kendaraan sport lebih landai dibandingkan dengan model kendaraan box dan sedan, hal ini disebabkan oleh bentuk bodi pada model kendaraan sport lebih aerodinamis sehingga aliran dapat mengikuti kontur bodi dan aliran lebih sedikit mengalami gangguan.

5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian kajian eksperimen pola aliran udara dapat disimpulkan sebagai berikut: Separasi aliran akibat dari *blockage mass* terjadi pada model kendaraan box pada rasio $x/l = 0,12$, untuk model kendaraan sedan terjadi pada rasio $x/l = 0,25$. Separasi aliran akibat dari *back flow* terjadi pada model kendaraan sedan pada rasio $x/l = 0,77$, untuk model kendaraan sport terjadi pada rasio $x/l = 1$. Dibelakang masing-masing model kendaraan terjadi *wake*, dan *vortex* hanya terjadi pada model kendaraan box.

Dari hasil visualisasi, separasi aliran pada model kendaraan box terjadi lebih awal dibandingkan dengan model kendaraan sedan dan sport. Bentuk bodi yang lebih aerodinamis membuat aliran yang melintasi bodi lebih sedikit mengalami gangguan. Stagnasi aliran pada masing-masing model kendaraan terjadi pada rasio $x/l = 0$.

Nomenclature

q_∞ = Tekanan dinamis (N/m^2)
 ρ = Densitas fluida (Kg/m^3)
 v = Kecepatan fluida (m/s)
 C_p = Koefisien tekanan
 P_c = Tekanan statis kontur lokal (N/m^2)

P_∞ = Tekanan statis *freestream* (N/m^2)
 q_∞ = Tekanan dinamis (N/m^2)
 P_u = Tekanan udara (N/m^2)
 ρ_u = Densitas udara (Kg/m^3)
 g = Gravitasi (m/s)
 Sg_m = *specific gravity* minyak
 Sg_u = *specific gravity* udara
 h_m = ketinggian minyak (m)

Daftar Pustaka

- [1]. Anderson. J. D., 2005, **Fundamental Of Aerodynamic**, Fifth Edition, McGraw-Hill, International Edition.
- [2]. Munson. B. R., 2010, **Fundamental Of Fluid Mechanics**, Six Edition, Jonh Wiley and Sons, Inc.
- [3]. Schlichting H., 1968, **Boundary Layer Theory**, McGraw-Hill, Series Mechanical Enggineering.



I Putu Widiarta menyelesaikan studi S1 di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Udayana pada tahun 2020. Bidang penelitian yang diminati adalah topik berkaitan dengan konversi energi yaitu: di bidang mekanika fluida, aerodinamika dan termodinamika.

Preliminary Design Rotor Turbin Radial pada Sistem Siklus Rankine Organik dengan Memanfaatkan Gas Buang Turbin

Putu Ivan M.M. , I.G.B Wijaya Kusuma, I Wayan Bandem Adnyana
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Siklus Rankine Organik merupakan modifikasi Siklus Rankine Konvensional untuk memanfaatkan sumber panas bertemperatur rendah. Sebuah sistem pembangkit daya memiliki gas buang sistem dengan spesifikasi temperatur sebesar $\pm 496,327^{\circ}\text{C}$ dan bertekanan $\pm 3638,267$ kPa yang mana spesifikasi tersebut tergolong potensial pada sistem Siklus Rankine Organik. Berdasar pada hal tersebut, pada penelitian ini dilakukan studi perancangan preliminary design suatu rotor turbin berdasarkan spesifikasi gas buang tersebut dan dilakukan pengujian dengan memvariasikan fluida kerja yang digunakan dengan pendekatan simulasi Computational Fluid Dynamics untuk mengetahui daya keluaran dan efisiensi yang dihasilkan oleh rotor turbin beserta profil kecepatan aliran fluida dan distribusi tekanan yang terjadi sepanjang permukaan blade. Rotor turbin radial yang dirancang memiliki radius 59,82 mm dengan jumlah blade sebanyak 10 buah. Simulasi Computational Fluid Dynamics dengan variasi fluida kerja uap air, R134a, dan R143a pada kecepatan putaran 25.000 RPM menghasilkan daya keluaran berturut – turut sebesar 314,37 kW, 59,70 kW, 63,00 kW dengan efisiensi berturut – turut sebesar 72,14% ; 63,78% ; 65,00%. Pengamatan terhadap profil kecepatan aliran fluida menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kecepatan dari daerah inlet hingga outlet rotor, sementara itu profil distribusi tekanan menunjukkan bahwa terjadi penurunan tekanan dari daerah inlet hingga outlet rotor, yang mengindikasikan bahwa telah terjadi proses ekspansi pada rotor.

Kata kunci : preliminary design, rotor, CFD

Abstract

Organic Rankine Cycle is modification of Conventional Rankine Cycle to utilize low-temperature heat source. A power generation system has exhausting gas system with a temperature of $\pm 496,327^{\circ}\text{C}$ and a pressure of $\pm 3638,267$ kPa which is a potential specification for the Organic Rankine Cycle System. In this research concluded study of preliminary design of turbine rotor study based on the specification of the exhaust gas and the trial was done by varying working fluids with Computational Fluid Dynamics simulation approach to determine the power output and efficiency which was produced by turbine rotor, and fluid flow velocity profile and pressure distribution along the blade surface. With 10 blades and a radius of 59,82 mm the radial turbine rotor was designed. The Computational Fluid Dynamics simulation with variation of working fluids of water vapor, R134a, and R143a at a rotation speed of 25.000 RPM produced power output of 314,37 kW, 59,70 kW, 63,00 kW with efficiency of 72,14% ; 63,78% ; 65,00%. Based on the observation, fluid flow velocity profile shows an increased in speed from inlet to outlet of the rotor. Meanwhile the pressure distribution profile shows that there was decreased in pressure from inlet to outlet of the rotor, which was indicated that there has been an expansion processed in the rotor.

Keywords : preliminary design, rotor, CFD

1. Pendahuluan

Organic Rankine Cycle atau Siklus Rankine Organik merupakan modifikasi dari Siklus Rankine dengan mengubah fluida kerja semula, yaitu air menjadi fluida organik (contoh : refrigerant R123a, R143a) [1]. Secara teoritis, yang memungkinkan sistem ini bekerja adalah fluida organik tersebut memiliki titik didih yang lebih rendah dibandingkan dengan air. Sehingga uap panas bumi dengan temperatur relatif rendah dapat dimanfaatkan untuk menggenerasi listrik. Namun kelemahan dari Siklus Rankine Organik adalah nilai efisiensi termis sistem yang cenderung rendah, sehingga penelitian-penelitian baik secara teoritis maupun eksperimental banyak dilakukan sebagai wujud usaha untuk meningkatkan nilai efisiensi sistem.

Secara umum, Siklus Rankine Organik memiliki empat komponen utama pada instalasinya, yaitu

pompa, evaporator, turbin, dan kondensor. Tentunya unjuk kerja dari sistem secara signifikan dipengaruhi oleh efisiensi komponen – komponen yang menyusun sistem tersebut. Dan salah satu komponen yang paling mempengaruhi ekspansi energi pada siklus adalah turbin. Terlebih pada Siklus Rankine Organik yang cenderung memiliki temperatur kerja lebih rendah, desain *blade* dan rotor diharapkan optimal untuk mendapatkan performansi yang maksimal.

Pada penelitian ini terdapat sebuah sistem pembangkit daya yang memiliki gas buang sistem dengan spesifikasi temperatur sebesar $\pm 496,327^{\circ}\text{C}$ dan bertekanan $\pm 3638,267$ kPa yang mana spesifikasi tersebut tergolong potensial pada sistem Siklus Rankine Organik. Dengan berdasar pada hal tersebut, penulis berupaya melakukan studi berupa perancangan *preliminary design* atau desain awal

suatu rotor turbin dengan memanfaatkan data spesifikasi gas buang tersebut. Dan untuk menguji kualitas desain *blade* yang dirancang, penulis berupaya menganalisis karakteristik aliran fluida kerja pada permukaan blade rotor dengan menggunakan pendekatan simulasi *Computational Fluid Dynamics* serta mendapatkan perbandingan daya keluaran dan efisiensi akibat pengaruh variasi fluida kerja.

2. Dasar Teori

2.1 Perancangan Manual Rotor Turbin Radial

Perancangan geometri dan segitiga kecepatan suatu rotor turbin menggunakan parameter koefisien beban (ψ) dan koefisien aliran (φ). Dirumuskan dalam persamaan berikut :

$$\psi = \frac{C_{\theta 4}}{U_4} \quad (1)$$

$$\varphi = \frac{C_{m5}}{U_4} \quad (2)$$

Keterangan :

$C_{\theta 4}$ = Kecepatan masuk absolut tangensial fluida (m/s)

C_{m5} = Kecepatan meridional keluar fluida (m/s)

U_4 = Kecepatan rotor masuk (m/s)

Efisiensi rotor bernilai maksimum pada koefisien beban bernilai 0,9 – 1,0 dan koefisien aliran bernilai 0,2 – 0,3 [2].

Persamaan-persamaan berikut digunakan untuk menentukan segitiga kecepatan dan sudut aliran pada stasion masuk rotor [3] :

$$U_4 = vC_{\theta 4} \quad (3)$$

$$C_{\theta 4} = \psi U_4 \quad (4)$$

$$C_{m4} = \zeta \varphi U_4 \quad (5)$$

$$C_4 = (C_{m4}^2 + C_{\theta 4}^2)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

$$\alpha_4 = \tan^{-1} \left(\frac{C_{\theta 4}}{C_{m4}} \right) \quad (7)$$

$$\beta_4 = \tan^{-1} \left(\frac{C_{\theta 4} - U_4}{C_{m4}} \right) \quad (8)$$

Keterangan :

v = *Blade speed ratio*

C_{m4} = Kecepatan meridional masuk fluida (m/s)

ζ = Rasio kecepatan meridional

α_4 = Sudut absolut masuk ($^{\circ}$)

β_4 = Sudut relatif masuk ($^{\circ}$)

Persamaan-persamaan berikut digunakan untuk menentukan geometri rotor [2] :

$$r_4 = \frac{U_4}{\omega} \quad (9)$$

$$r_5 = \frac{(r_{5s} + r_{5h})}{2} \quad (10)$$

$$r_{5h} = 0,185r_4 \quad (11)$$

$$t_{b4} = 0,04r_4 \quad (12)$$

$$t_{b5} = 0,02r_4 \quad (13)$$

Keterangan :

r_4 = Jari-jari rotor masuk (mm)

r_5 = Jari-jari rotor keluar (mm)

r_{5s} = Jari-jari *shroud* rotor keluar (mm)

r_{5h} = Jari-jari *hub* rotor keluar (mm)

t_{b4} = Tebal *blade* masuk (mm)

t_{b5} = Tebal *blade* keluar (mm)

ω = Kecepatan putaran rotor (rpm)

Perbandingan jari-jari *shroud* sisi keluar rotor (r_{5s}) dan jari-jari rotor masuk (r_4), dan panjang aksial rotor (ΔZ_R) ditentukan melalui persamaan berikut [2] :

$$\frac{r_{5s}}{r_4} \leq 0,78 \quad (14)$$

$$\Delta Z_R = 1,5(r_{5s} - r_{5h}) \quad (15)$$

Jumlah sudu (N_R) yang dibutuhkan rotor ditentukan melalui persamaan berikut [4] :

$$N_R = \frac{\pi(110 - \alpha_4)\tan\alpha_4}{30} \quad (16)$$

2.2 Perancangan Numerik Rotor Turbin Radial

Perancangan numerik suatu rotor turbin radial dilakukan dengan memanfaatkan perangkat lunak ANSYS Vista RTDTM dan ANSYS BladeModelerTM.

ANSYS Vista RTDTM merupakan perangkat lunak yang beroperasi dengan metode simulasi iterasi satu dimensi [5]. Perangkat lunak ini memungkinkan kita untuk mendapatkan besaran geometri suatu rotor beserta performansi seperti daya keluaran dan efisiensi rotor.

ANSYS BladeModelerTM merupakan perangkat lunak *computer aided design* (CAD) yang digunakan untuk merancang model geometri rotor turbin. Pada penelitian ini penulis mengintegrasikan hasil perancangan numerik ANSYS Vista RTDTM untuk mendapatkan model geometri rotor turbin yang telah dirancang.

2.3 Simulasi *Computational Fluid Dynamics*

Computational Fluid Dynamics (CFD) pada penelitian ini dilakukan untuk mensimulasikan aliran fluida pada rotor yang telah dirancang. CFD membuat solusi secara komputasi untuk persamaan-persamaan aliran fluida pada objek simulasi dengan kondisi batas yang telah ditentukan secara spesifik.

Perangkat lunak yang digunakan untuk mensimulasikan aliran fluida pada peralatan *turbomachinery* adalah ANSYS Turbomachinery Fluid FlowTM.

3. Metode Penelitian

3.1 Spesifikasi Gas Buang Turbin

Tabel berikut menjabarkan nilai temperatur dan tekanan gas buang turbin yang dijadikan dasar dalam studi perancangan *preliminary design* rotor turbin :

Tabel 1. Spesifikasi gas buang turbin

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Temperatur	T_{∞}	$\pm 769,327$	K
Tekanan	P_{∞}	$\pm 3638,267$	kPa

3.2 Penentuan Fluida Kerja

Spesifikasi fluida kerja sangat mempengaruhi efisiensi sistem Siklus Rankine Organik [6]. Penulis menetapkan refrigeran R134a dan R143a sebagai fluida organik yang akan divariasikan pada penelitian itu. Sementara itu, fluida uap air juga digunakan sebagai variasi fluida kerja mengingat spesifikasi gas buang turbin masih memadai untuk fluida tersebut.

3.3 Parameter Input Perancangan

Tabel berikut merupakan nilai parameter input perancangan yang dibutuhkan perangkat lunak ANSYS Vista RTD™ :

Tabel 2. Parameter input perancangan

Parameter	Simbol	Satuan
Temperatur masuk	T_{∞}	K
Tekanan masuk	P_{∞}	kPa
Rasio ekspansi	r_e	-
RPM	ω	rpm
Rasio kecepatan blade	λ	-
Efisiensi nozzle	η_{nozzle}	-
Sudut aliran masuk	α_4	°
Sudut aliran keluar	α_5	°
Rasio jari – jari <i>shroud exit/inlet</i>	r_{5s}/r_{4s}	-
Rasio jari – jari <i>hub exit/inlet</i>	r_{5h}/r_{4h}	-
Jumlah blade	N	Buah
Ketebalan blade rotor keluar	tb_5	mm
<i>Axial length/diameter</i>	ΔZ_R	%
<i>Tip Clearance</i>	δ	mm

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Perancangan Numerik Rotor Turbin

Tabel berikut menjabarkan hasil simulasi satu dimensi oleh perangkat lunak ANSYS Vista RTD™ berupa perbandingan daya keluaran dan efisiensi yang dihasilkan oleh rotor yang telah dirancang.

Tabel 3. Perbandingan daya keluaran dan efisiensi rotor terhadap variasi fluida kerja pada

Parameter	Jenis Fluida Kerja		
	Uap Air	R134a	R143a
Daya keluaran (kW)	330,88	64,11	70,23
Efisiensi (%)	78,60	73,20	75,20

ANSYS Vista RTD™

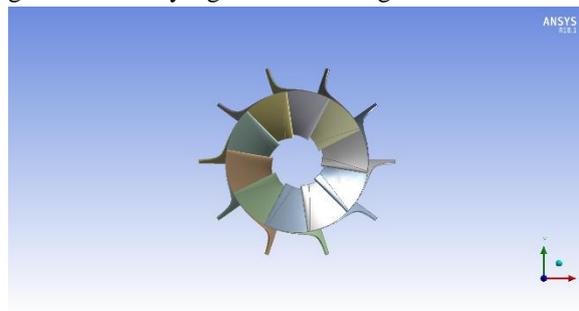
4.2 Pemodelan Geometri Rotor Turbin

Perangkat lunak ini digunakan untuk membuat pemodelan geometri atas hasil rancangan rotor oleh perangkat lunak ANSYS Vista RTD™. Tabel berikut menjabarkan beberapa dimensi utama dari rotor yang telah dirancang.

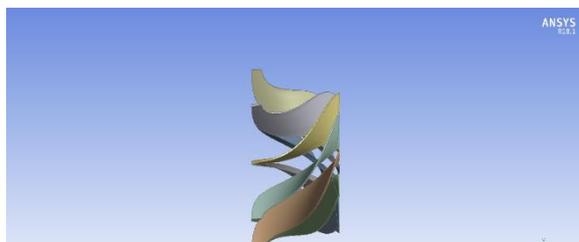
Tabel 4. Dimensi rotor hasil perancangan numerik

Geometri	Nilai	Satuan
Radius rotor (r_4)	59,82	mm
Radius hub (r_{h4})	10,11	mm
Panjang aksial (ΔZ_R)	36,09	mm
Tinggi inlet (b_4)	3,92	mm
Tinggi outlet (b_5)	19,21	mm
Tebal blade inlet (tb_4)	2,39	mm
Tebal blade outlet (tb_5)	1,19	mm

Gambar berikut menampilkan penampang desain geometri rotor yang telah dirancang.



Gambar 1. Desain geometri rotor (tampak depan)



Gambar 2. Desain geometri rotor (tampak samping)

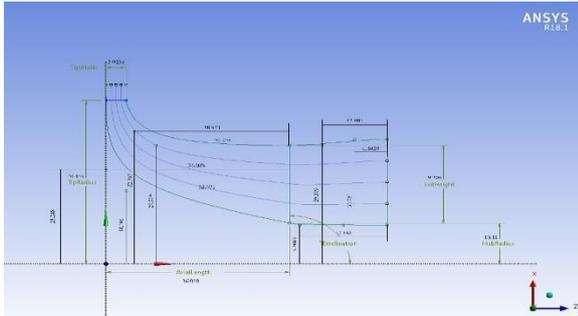
4.3 Simulasi Computational Fluid Dynamics

Simulasi dengan pendekatan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) diharapkan memberikan prediksi performansi rotor yang lebih akurat jika dibandingkan dengan hasil simulasi iterasi satu dimensi yang diperoleh dari perangkat lunak ANSYS Vista RTD™.

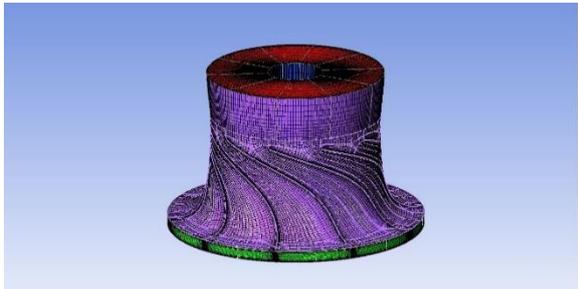
Simulasi CFD juga memungkinkan untuk mendapatkan profil kecepatan aliran dan distribusi tekanan pada permukaan *blade* rotor.

Tahap Meshing

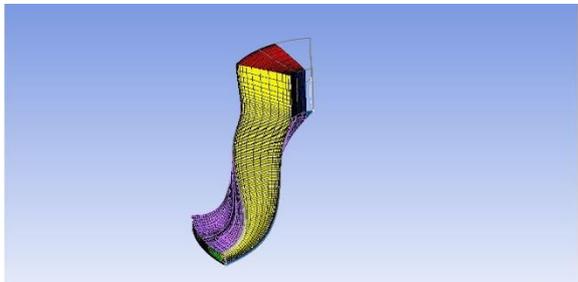
Pada tahap ini, geometri rotor yang telah dirancang dikonversi menjadi sebuah *mesh* sebagai *domain* komputasi. Tahap ini menentukan tingkat akurasi dari simulasi CFD yang dilakukan. Dimana semakin banyak jumlah *element* pada *mesh*, tingkat akurasi akan semakin meningkat, namun membutuhkan proses komputasi yang lebih berat.



Gambar 3. Dimensi geometri blade rotor



Gambar 4. Hasil meshing pada rotor



Gambar 5. Hasil meshing pada blade rotor

Gambar berikut merupakan hasil *mesh* dari proses yang telah dilakukan.

a. Tahap *Pre-Processing*

Pre – Processing merupakan tahap sebelum dilakukannya proses simulasi, dimana pada tahap inilah, parameter – parameter simulasi ditentukan. Perangkat lunak yang digunakan adalah ANSYS CFX yang merupakan *sub* bagian dari ANSYS Turbomachinery Fluid Flow™. Adapun langkah – langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Menjalankan *Turbo Mode* melalui menu *Tools – Turbo Mode*. Merupakan metode simplifikasi oleh ANSYS CFX untuk menentukan parameter – parameter simulasi khusus untuk peralatan *turbomachinery*.
2. Pada menu *Basic Setting*, penulis menentukan jenis peralatan yang akan di simulasi adalah *Radial Turbine*, dan menentukan sumbu rotasi sesuai dengan koordinat sumbu dari desain yang telah dibuat. Dan menentukan jenis simulasi, yaitu *steady*.

3. Pada menu *Physic Definition*, penulis menentukan jenis fluida kerja yang akan digunakan yaitu H₂O, R134a, dan R143a.
4. Pada sub menu *Inflow/Outflow Boundary Templates*, penulis menentukan besaran tekanan total dan temperatur total berdasarkan data gas buang turbin.
5. Pada sub menu *Solver Manager*, penulis menentukan jumlah iterasi minimum dan maksimum yang dilakukan komputer, serta pengaturan konvergensi.

Penyelesaian *Turbo Mode* dilakukan dengan memilih *General Mode* pada menu *Final Operations*.

b. Tahap *Solving*

Tahap *solving* merupakan tahap dimana proses simulasi dilakukan. Langkah yang dilakukan penulis adalah menentukan jenis *processor* yang akan digunakan untuk menjalankan program.

Hasil yang konvergen ditandai dengan nilai RMS dibawah 10⁻⁴.

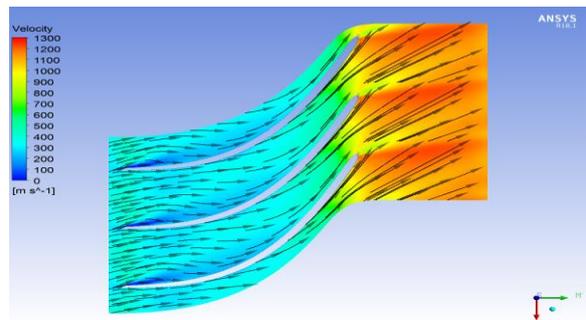
c. Tahap *Post-Processing*

Tahap *post – processing* merupakan tahap dimana kita dapat melihat hasil simulasi yang telah dilakukan. Hasil simulasi ditampilkan dalam bentuk *report*, yang memungkinkan kita untuk mendapatkan data baik berupa angka maupun gambar.

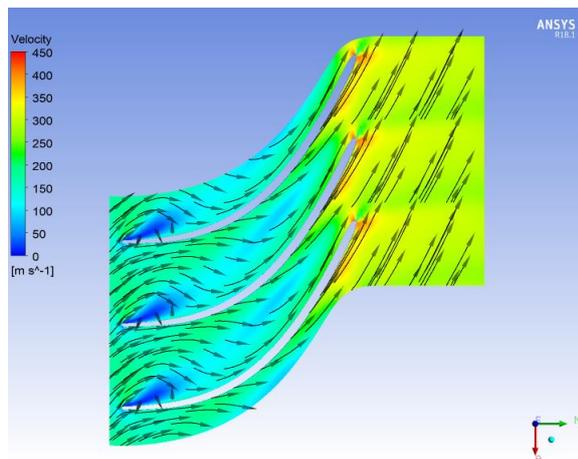
Hasil simulasi pada penelitian ini dikategorikan menjadi dua, yaitu data kualitatif, yaitu profil kecepatan aliran dan distribusi tekanan. Dan data kuantitatif adalah performansi rotor berupa tingkat keadaan, daya keluaran, dan efisiensi.

- Profil Kecepatan Aliran

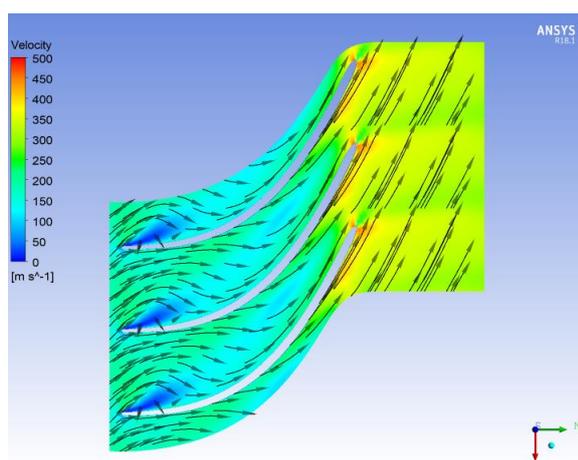
Melalui gambar-gambar berikut kita mengamati pola aliran yang terjadi pada rotor yang telah dirancang. Pengamatan tersebut dilakukan berdasarkan studi literatur mengenai aliran tiga dimensi berbasis *Computational Fluid Dynamics*. Simulasi dilakukan dengan kondisi aliran fluida kerja masuk arah radial mengikuti putaran *blade* dan keluar arah aksial menuju saluran *diffuser*.



Gambar 6. Vektor *streamline* aliran fluida uap air



Gambar 7. Vektor *streamline* aliran fluida R134a



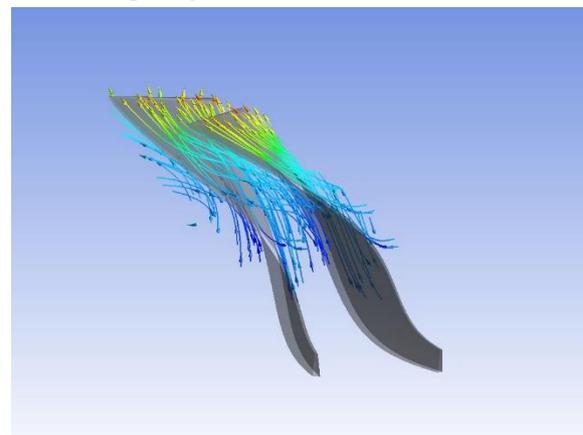
Gambar 8. Vektor *streamline* aliran fluida R143a

Pada gambar 6,7, dan 8 kita dapat mengamati bahwa aliran fluida bergerak dari arah *downstream* menuju *mainstream*, dan terjadi perubahan kecepatan yang cukup signifikan.

Perubahan kecepatan tersebut yang pertama adalah ketika fluida mengenai ujung airfoil bagian *inlet* pada daerah *leading edge*. Pola aliran tersebut membentuk titik stagnasi yang menyebabkan terjadi separasi aliran, (ditandai dengan warna biru tua pada titik stagnasi). Selain daripada itu, jika memperhatikan kecepatan aliran fluida yang dekat dengan permukaan *blade* memiliki kecepatan yang cenderung lebih rendah dibandingkan dengan area yang jauh dari permukaan *blade* (ditandai dengan warna yang cenderung lebih gelap pada daerah yang dekat dengan permukaan *blade* dibandingkan dengan daerah yang jauh dari permukaan *blade*). Hal ini disebabkan oleh fenomena aliran yang melewati *boundary layer*. Kecepatan aliran yang cenderung lebih rendah terjadi akibat pengaruh tegangan geser antara fluida dengan permukaan *blade*.

Perubahan kecepatan yang kedua terdapat ketika fluida memasuki daerah *mainstream*. Peningkatan kecepatan yang signifikan (ditandai dengan adanya perubahan warna menjadi hijau hingga oranye). Hal ini sesuai dengan teori literatur mengenai aliran tiga

dimensi berbasis CFD yaitu pada saat fluida melewati sisi cekung *blade*, kecepatan aliran cenderung rendah, dan akan meningkat ketika fluida melalui sisi *blade* yang datar. Hal ini dapat diperhatikan dengan lebih jelas dengan mengamati *streamline* pada gambar 9.



Gambar 9. *Streamline* aliran fluida pada permukaan *blade* sisi cekung dan datar

- Profil Distribusi Tekanan

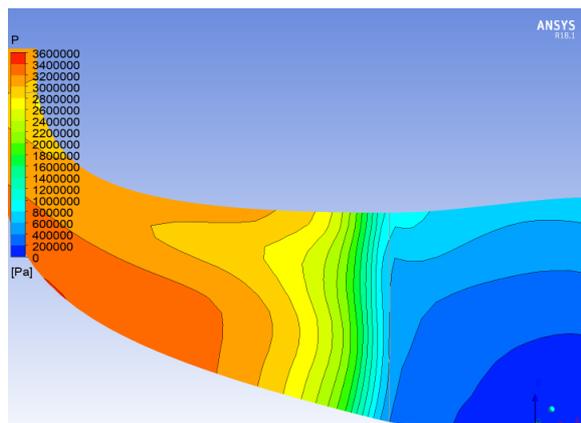
Hukum Bernoulli menyatakan bahwa semakin cepat arah putaran suatu benda berputar, maka tekanan yang terjadi pada area tersebut akan menurun, sehingga kecepatan aliran pada area tersebut akan meningkat. Gambar 10, gambar 11, dan gambar 12 menyajikan distribusi tekanan yang terjadi sepanjang *blade* rotor dengan masing – masing fluida kerja uap air, R134a, dan R143a.

Jika kita memperhatikan secara umum, prinsip Bernoulli berlaku mengingat *streamline* yang ditunjukkan oleh Gambar 6, gambar 7, dan gambar 8 dan distribusi tekanan yang ditunjukkan oleh gambar 10, gambar 11, dan gambar 12 memiliki warna yang berkebalikan. Merupakan indikasi yang menunjukkan bahwa pada area dimana terjadi penurunan kecepatan, terjadi peningkatan tekanan, begitu pula sebaliknya.

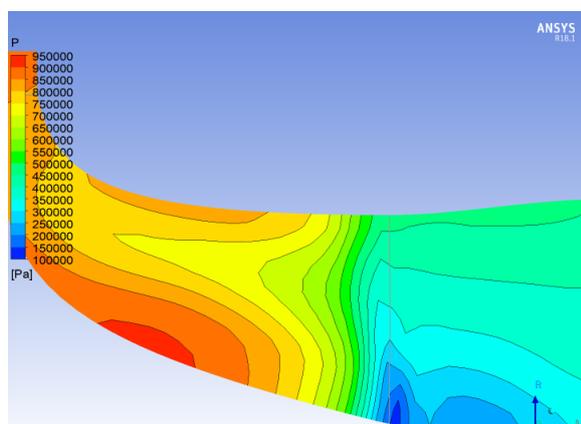
Pada gambar terlihat bahwa penurunan tekanan pertama terjadi pada daerah *leading edge*. Tekanan bernilai konstan pada daerah inlet (ditandai dengan warna oranye tua) dan begitu memasuki hulu *blade* terjadi penurunan tekanan (ditandai dengan perubahan warna menjadi oranye yang lebih muda). Penurunan tekanan selanjutnya terjadi sepanjang *passage blade* (ditandai dengan berbagai kontur warna mulai dari oranye hingga kuning). Dan penurunan tekanan selanjutnya terjadi ketika fluida mengalir keluar dari *passage* dan memasuki daerah *trailing edge* (ditandai perubahan warna dari hijau ke biru).

Pada gambar juga terlihat bahwa saat fluida melewati permukaan *blade* yang cekung, maka tekanan di area tersebut cenderung akan lebih besar dibandingkan area yang permukaannya cembung atau datar. Hal ini bisa diartikan dalam ilmu perancangan

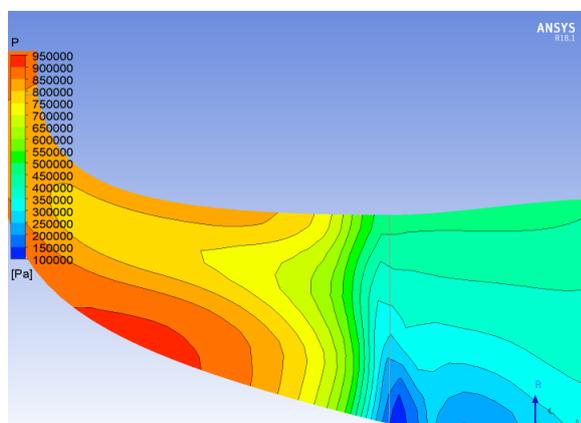
bahwa rotor turbin didesain agar aliran fluida mengalir menubruk bagian *blade* yang cembung untuk meningkatkan kecepatan aliran fluida.



Gambar 10. Distribusi tekanan pada *blade* rotor dengan fluida uap air



Gambar 11. Distribusi tekanan pada *blade* rotor dengan fluida R134a



Gambar 12. Distribusi tekanan pada *blade* rotor dengan fluida R143a

Jika membandingkan distribusi tekanan dari masing – masing fluida kerja, terdapat perbedaan kontur antara fluida uap air dengan refrigeran R134a,

dan R143a. Pada kedua jenis refrigeran, terdapat penurunan tekanan yang mencolok pada daerah ujung *trailing edge*. Hal ini disebabkan pada daerah tersebut merupakan hilir *blade* yang menyebabkan aliran fluida mengalami peningkatan kecepatan yang berakibat pada penurunan tekanan. Sehingga dapat diartikan bahwa kelengkungan suatu *blade* memiliki pengaruh pada pola aliran fluida, dan setiap jenis fluida membutuhkan kelengkungan optimal yang berbeda – beda.

Dan berdasarkan hasil simulasi dengan melihat kontur tekanan, dapat dikatakan bahwa dari arah inlet hingga outlet proses ekspansi rotor turbin berhasil, yang diindikasikan oleh terjadinya penurunan tekanan.

- Performansi Rotor

Selain memperoleh data hasil simulasi berupa kontur kecepatan dan kontur tekanan, ANSYS Turbomachinery Fluid Flow™ memungkinkan kita untuk mendapatkan hasil simulasi berupa performansi rotor turbin yang telah dirancang.

Tabel-tabel berikut menyajikan data kuantitatif dari kinerja rotor yang telah dirancang berupa tingkat keadaan pada stasiun inlet, *leading edge*, *trailing edge*, dan outlet rotor pada masing-masing variasi fluida kerja.

Tabel 5. Tingkat keadaan rotor dengan fluida uap air

Stasiun	Parameter Tingkat Keadaan				
	Kecepatan (m/s)	Tekanan (kPa)	Temperatur (K)	Entalpi (kJ/kg)	Entropi (kJ/kg.K)
Inlet	313,11	3160,33	745,71	3378,26	7,14
LE	372,46	2962,65	735,64	3297,55	7,14
TE	956,60	605,06	529,25	2948,10	7,14
Outlet	1031,78	428,98	502,19	2925,07	7,14

Tabel 6. Tingkat keadaan rotor dengan fluida R134a

Stasiun	Parameter Tingkat Keadaan				
	Kecepatan (m/s)	Tekanan (kPa)	Temperatur (K)	Entalpi (kJ/kg)	Entropi (kJ/kg.K)
Inlet	114,63	898,05	764,18	902,19	2,72
LE	140,24	849,90	761,80	876,13	2,72
TE	288,52	344,12	704,90	801,88	2,72
Outlet	314,12	261,49	681,13	792,23	2,72

Berdasarkan tingkat keadaan rotor yang dijabarkan pada tabel 5, tabel 6, dan tabel 7 kita mengetahui bahwa dari arah inlet hingga menuju outlet telah terjadi peningkatan kecepatan, penurunan temperatur, serta penurunan tekanan dan penurunan entalpi yang mengindikasikan bahwa telah terjadi proses ekspansi pada rotor yang telah dirancang. Nilai entropi yang konstan mengindikasikan bahwa proses ekspansi rotor pada proses simulasi CFD berjalan secara isentropis.

Tabel 7. Tingkat keadaan rotor dengan fluida R143a

Stasiun	Parameter Tingkat Keadaan				
	Kecepatan (m/s)	Tekanan (kPa)	Temperatur (K)	Entalpi (kJ/kg)	Entropi (kJ/kg.K)
Inlet	128,34	895,55	763,73	925,11	2,90
LE	156,06	846,99	761,16	898,35	2,90
TE	325,42	342,38	674,93	800,82	2,90
Outlet	346,22	294,76	626,11	779,02	2,90

Sementara itu, tabel berikut menyajikan perbandingan daya keluaran dan efisiensi rotor turbin dengan variasi fluida kerja berdasarkan hasil simulasi CFD.

Tabel 8. Perbandingan daya keluaran dan efisiensi rotor dengan variasi fluida kerja

Parameter	Jenis Fluida Kerja		
	Uap Air	R134a	R143a
Daya keluaran (kW)	314,37	59,70	63,00
Efisiensi (%)	72,14	63,78	65,00

Melalui tabel 8 kita mengetahui bahwa dengan variasi fluida kerja uap air, R134a, dan R143a, rotor yang telah dirancang menghasilkan daya keluaran secara berturut – turut sebesar 314,37 kW, 59,70 kW, dan 63,00 kW dengan efisiensi total to total berturut – turut sebesar 72,14% ; 63,78% ; 65%.

4.4 Validasi Daya Keluaran

Untuk membuktikan bahwa hasil yang diperoleh melalui proses simulasi CFD adalah relevan, Selanjutnya penulis berusaha memvalidasi hasil daya keluaran yang diperoleh melalui hasil simulasi CFD dengan membandingkan hasil daya keluaran dan yang diperoleh melalui perhitungan formulasi.

Berikut merupakan tabel yang menjabarkan perbandingan nilai daya keluaran yang diperoleh melalui hasil simulasi CFD dengan nilai daya keluaran yang diperoleh melalui perhitungan formulasi.

Tabel 9. Perbandingan daya keluaran hasil simulasi CFD dengan perhitungan formulasi

Jenis Kerja	Fluida	Metode	
		Simulasi CFD	Formulasi
Uap air		314,37 kW	326,29 kW
R134a		59,70 kW	69,27 kW
R143a		63,00 kW	94,96 kW

Hasil perhitungan dengan menggunakan formulasi menunjukkan nilai daya keluaran yang berbeda dengan nilai daya keluaran yang diperoleh dari hasil simulasi. Secara berturut – turut,

perhitungan daya keluaran menggunakan formulasi menunjukkan hasil 326,29 kW, 69,27 kW, 94,96 kW pada fluida kerja uap air, R134a, dan R143a.

Menurut pendapat penulis, perbedaan tersebut disebabkan oleh dua hal, yaitu bagaimana algoritma perangkat lunak ANSYS Turbomachinery Fluid FlowTM menentukan hasil perhitungan secara komputasi bisa saja berbeda dengan formulasi yang digunakan secara umum.

Dan hal yang kedua adalah formulasi yang digunakan adalah persamaan umum yang digunakan untuk menentukan daya keluaran sebuah turbin, sementara hasil yang diperoleh dari perangkat lunak adalah daya keluaran pada tingkat rotor. Jadi untuk membandingkan kedua hasil tersebut secara riil, diperlukan juga pengamatan terhadap komponen turbin lain seperti pada *volute*, *nozzle*, dan *diffuser*.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan tentang studi perancangan preliminary design rotor turbin radial pada sistem siklus rankine organik dengan memanfaatkan gas buang turbin, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Telah dihasilkan sebuah *preliminary design* atau desain awal rotor turbin radial dengan dimensi radius sebesar 59,82 mm, radius hub sebesar 10,11 mm, panjang aksial *blade* sebesar 36,09 mm, tinggi inlet sebesar 3,92 mm, tinggi outlet 19,21 mm, tebal *blade* inlet sebesar 2,39 mm, dan tebal *blade* outlet sebesar 1,19 mm dengan jumlah *blade* 10 buah.
2. Simulasi *Computational Fluid Dynamics* terhadap rotor yang telah dirancang menggunakan perangkat lunak ANSYS Turbomachinery Fluid FlowTM dengan variasi fluida kerja uap air, R134a, dan R143a menghasilkan daya keluaran berturut – turut sebesar 314,37 kW, 59,70 kW, 63,00 kW dengan efisiensi berturut – turut 72,14% ; 63,78% ; 65,00%.
3. Distribusi tekanan pada blade rotor menunjukkan bahwa penurunan tekanan terjadi pada tiap stasiun rotor, yaitu inlet, *leading edge*, *trailing edge*, dan outlet, mengindikasikan bahwa telah terjadi proses ekspansi pada rotor. Sementara itu, profil kecepatan aliran fluida menunjukkan bahwa kenaikan kecepatan terjadi pada tiap stasiun rotor, yaitu inlet, *leading edge*, *trailing edge*, dan outlet. Hal ini sesuai dengan prinsip Bernoulli yang mengatakan bahwa kenaikan kecepatan terjadi seiring dengan terjadinya penurunan tekanan.

Daftar Pustaka

- [1]. Prasetyo, P., 2015, *Studi Penentuan Geometri Turbin Radial Aliran Masuk pada Siklus Rankine Organik dengan Fluida Kerja R134a*, Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- [2]. Baines, N. C., 2003, *Axial and Radial Turbines*, CONCEPT NREC.

- [3]. Aungier, R. H. , 2005, *Turbine Aerodynamics: Axial-Flow and Radial-Inflow Turbine Design and Analysis*, 1st ed. New York: ASME PRESS.
- [4]. Ventura, C. A. M., 2012, *Preliminary Design and Performance Estimation of Radial Inflow Turbines : An Automated Approach*. Journal of Fluids Engineering, Vol.134, No. 3, pp.134-147.
- [5]. Puspita Dewi, R. N. P. & Nugroho, G., 2018, *Analisis Aliran Fluida Refrigeran 134a pada Rotor Radial Berbasis Computational Fluid Dynamics*, Jurnal Teknik ITS, Vol. 7, No. 2, 185–192.
- [6]. Bao, J., Zhao L., 2013, *A Review of Working Fluid and Expander Selections for Organic Rankine Cycle*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 24, pp. 325-342.



Karakteristik Kekuatan Mekanik Papan Partikel Komposit Serbuk Kayu Jati Dengan Matriks Resin Epoksi Elka-311 Dengan Variasi Fraksi Massa

I Made Satria Wibawa, C.I.P.K. Kencanawati, D.N.K. Putra Negara
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Salah satu masalah yang sering dijumpai adalah kurangnya kesadaran akan limbah serbuk gergaji pada industri mebel dan furniture. Jenis limbah yang dihasilkan dari industri mebel dan furniture dengan jumlah yang besar adalah limbah serbuk kayu jati, dimana serbuk ini dapat dimanfaatkan menjadi bahan baku salah satunya adalah papan partikel komposit. Penelitian ini menggunakan serbuk kayu jati berukuran 10-40 mesh dengan matriks resin epoksi ELKA-311. Dengan menggunakan variasi fraksi massa antara serbuk kayu jati dengan resin epoksi yaitu 5% : 95%, 10% : 90%, 85% : 15%. Pengujian yang dilakukan yaitu uji impact dengan standar ASTM D 256, uji Bending dengan standar ASTM D790 – 03, uji SEM dan uji daya serap air dengan standar ASTM D570-98. Hasil uji impact menunjukkan spesimen dengan variasi fraksi massa 15% : 85% memiliki nilai terbesar yaitu 0,011 Nm/mm². Hasil uji bending menunjukkan spesimen dengan variasi fraksi massa 15% : 85% memiliki nilai terbesar uji bending yaitu tegangan sebesar 38,25 MPa, regangan sebesar 0,048, dan modulus elastisitas sebesar 861,22 MPa. Hasil pengujian dibuktikan dengan uji SEM dengan mengetahui morfologi spesimen. Hasil uji daya serap air menunjukkan spesimen dengan variasi fraksi massa 15% : 85% memiliki daya serap air terendah sebesar 0,67%.

Kata kunci : komposit, serbuk kayu jati, resin epoksi, fraksi massa.

Abstract

One of the main problem that we find in our society is lack of awareness about sawdust waste in furniture and meuble industry. One of the waste that produce by furniture industry is teak wood powder, where actually we can used it as raw material to make partikel board composite. This research used teak wood powder measuring 10-40 mesh with epoxy resin ELKA-311 matrix. For variation i used mass fraction variation between teak wood powder and epoxy resin 5% : 95%, 10% : 90%, 15% : 85%. For tested perform are impact test with ASTM D 256. Bending test with ASTM D790 – 03. Water absorption test with ASTM D570-98, and SEM test. The results of impact test that showed specimen with mass fraction variation 15% : 85% have the higgest impact strength the value is 0,011 Nm/mm². The result of bending test that indicated spesimen with mass fraction variation 15% : 85% have the higgest bending strength values, where the bending stressthe value is 38,25 MPa, the bending strain the value is 0,048 and the modulus elasticity the value is 861,22 MPa. The results of these test can be proven with SEM test to showed morphology specimen. The result of water absorption that showed with mass fraction 15% : 85% have the lowest water absorption the value is 0,67%.

Keywords : composite, teak wood powder, epoxy resin, mass fraction.

1. Pendahuluan

Salah satu masalah yang sering dijumpai di tengah masyarakat adalah kurangnya kesadaran akan limbah pada industri mebel dan furniture. Maka upaya yang dapat dilakukan untuk menghindari terjadinya kerusakan yang disebabkan oleh menumpuknya limbah tersebut dengan cara memanfaatkan limbah-limbah tersebut menjadi hal-hal yang lebih bermanfaat. Salah satu jenis limbah yang dihasilkan dari industri mebel dan furniture dengan jumlah yang besar adalah limbah serbuk gergaji, dimana serbuk ini nantinya dapat dimanfaatkan menjadi bahan baku papan partikel komposit.

Untuk serbuk gergaji yang dipilih adalah serbuk kayu jati (*tectona grandis*) yang memiliki potensi karena jumlahnya banyak di Indonesia karena terdapat banyak bahan baku pembuatan furniture sehingga banyaknya potensi limbah yang dapat dimanfaatkan, sementara untuk matriks pengikatnya

menggunakan jenis resin epoksi yang memiliki sifat ketahanan korosi yang baik pada keadaan basah, serta memiliki sifat mekanik, dan penahan panas yang baik.

Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian untuk mengetahui karakteristik kekuatan mekanik papan partikel komposit serbuk kayu jati dengan matriks resin epoksi dengan memvariasikan fraksi massa serbuk kayu jati dengan resin epoksi dengan perbandingan 5% : 95%, 10% : 90%, 15% : 85%. Dengan melakukan pengujian impact dengan standar ASTM D 256, uji bending dengan standar ASTM D790-03, uji SEM, dan uji daya serap air ASTM dengan standar D570-98.

2. Dasar Teori

2.1 Komposit

Komposit merupakan material yang terbentuk dari kombinasi antara dua atau lebih material, dimana sifat karakteristik dari masing – masing material pembentuknya yang berbeda. Pencampuran tersebut

dapat menghasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya. Keuntungan dari penggunaan komposit adalah bobotnya yang ringan serta mempunyai kekuatan yang baik, serta memiliki umur pemakaian yang lebih panjang [1].

2.2 Serbuk Kayu Jati

Kayu jati (*Tectona grandis*) merupakan salah satu jenis kayu yang banyak tumbuh di Indonesia yang paling banyak digunakan sebagai bahan baku furniture dan mebel karena memiliki sifat, kuat, awet, stabil, dan mudah dibentuk, dimana setelah kayu jati diolah pada industri mebel akan menghasilkan limbah berupa serbuk gergaji yang merupakan jenis partikel kayu yang bobotnya sangat ringan yang merupakan bekas dari sisa-sisa olahan kayu

2.3 Resin Epoksi

Resin epoksi merupakan resin yang memiliki kekuatan yang tinggi, dan daya rekat yang kuat. Selain itu epoksi juga baik dalam ketahanan terhadap bahan kimia, sifat dielektrik dan sifat isolasi, penyusutan rendah, stabilitas dimensi dan ketahanan. Karena Ketahanan korosi yang baik, ketahanan dan kekuatan tinggi. resin epoksi memiliki keunggulan sifat yaitu dengan banyak macam zat pengisi, zat penguat, dan substrat, mudah divariasikan secara luas terhadap berbagai jenis material atau bahan, dan reaksi kimia antara resin epoksi tidak mudah menguap atau larut dalam air sehingga saat resin merekat [2].

2.4 Uji Impact

Uji impact berfungsi mengukur ketahanan material saat menerima beban kejut. Dimensi spesimen yang digunakan pada proses pengujian impact adalah panjang = 55 mm, lebar 10 mm, dan tebal 10 mm serta dibuatkan takikan pada spesimen sebesar 45°. Perhitungan uji impact menggunakan rumus pada ASTM D 256 yaitu :

$$\text{Energi awal, } E_0 = W h_1 = W \cdot l (1 - \cos \alpha) \quad (1)$$

$$\text{Energi Akhir, } E_1 = W h_2 = W \cdot l (1 - \cos \beta) \quad (2)$$

Jumlah Energi yang diserap

$$\begin{aligned} \Delta E &= E_0 - E_1 \\ &= W(h_1 - h_2) \\ &= W \cdot l (\cos \beta - \cos \alpha) \end{aligned} \quad (3)$$

Kekuatan Impact

$$I_s = \frac{\Delta E}{A} \quad (4)$$

Keterangan :

W = Berat dari pendulum (N)

α = Sudut Awal (°).

β = Sudut Akhir (°).

l = lengan bandul (m).

ΔE = Energi yang diserap (Nm)

I_s = Kekuatan impact (Nm/m²)

A = Luas Alas (m²)

2.5 Uji Bending

Uji bending merupakan salah satu bentuk pengujian untuk mengetahui kekuatan material pada

saat menerima pembebanan. Dimensi yang digunakan pada spesimen adalah panjang = 120 mm, lebar 15 mm, tebal 7 mm dengan standar ASTM D790-03

Tegangan adalah sebuah gaya yang diberikan dari luar sehingga material mengalami reaksi yang menyebabkan terjadinya deformasi. Rumus untuk menentukan tegangan adalah :

$$\sigma_L = \frac{3P \cdot L}{2b \cdot d^2} \quad (5)$$

Keterangan :

σ_L = Tegangan bending (MPa)

P = Beban (N)

L = Panjang span (mm)

b = Lebar benda uji (mm)

d = Tebal benda uji (mm)

Regangan bending merupakan perubahan bentuk struktur material menjadi melengkung ke arah y. Rumus untuk menentukan regangan adalah :

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

Keterangan :

ϵ_L = Regangan bending (mm/mm)

δ = Defleksi benda uji (mm)

L = Panjang span (mm)

d = Tebal benda uji

Modulus elastisitas adalah kekuatan suatu bahan atau ketahanan material uji terhadap deformasi elastis yang merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan dengan rumus :

$$E_L = \frac{L^3 \cdot m}{4b \cdot d^3} \quad (7)$$

Keterangan :

E_L = Modulus elastisitas bending (MPa)

L = Support span (mm)

b = Lebar benda uji (mm)

d = Tebal benda uji (mm)

m = Tangen garis lurus pada *load deflection curve* (N/mm)

2.6 Uji SEM (*Scanning Electron Microscope*)

SEM adalah sebuah mikroskop elektron yang dapat melakukan pembesaran 10-3 juta kali, depth of field 4-0.4 mm dan resolusi sebesar 1-10 nm. SEM memfokuskan sinar elektron dipermukaan dari suatu objek sehingga nantinya mampu mengambil gambarnya. Elektron memiliki resolusi yang lebih tinggi dari pada cahaya yang hanya mampu mencapai 200 nm, sedangkan elektron dapat mencapai resolusi hingga 0.1-0.2 nm. uji SEM digunakan untuk mengetahui informasi seperti : tofografi, morfologi, dan komposisi [3].

2.7 Uji Daya Serap Air

Daya serap air adalah kemampuan suatu material dalam menyerap air dalam rentan waktu yang telah ditentukan. Dimensi yang digunakan pada uji impact adalah panjang = 76,2 mm, lebar = 24,5 mm, dan tebal = 3,2 mm. Perhitungan daya serap air dengan standar ASTM D570-98 yaitu :

$$W_{abs} = \frac{W_a - W_o}{W_o} \times 100\% \quad (8)$$

Keterangan :

Wabs = Daya serap air (%)

Wa = massa basah dari specimen uji (gram)

Wo = massa kering dari specimen uji (gram)

3. Metode Penelitian

3.1 Alat Penelitian

Alat-alat yang diperlukan dalam proses pembuatan komposit papan partikel adalah :

1. Timbangan digital berfungsi untuk menimbang massa serbuk kayu jati.
2. Gelas ukur 100 ml berfungsi sebagai takaran untuk mengukur resin epoksi.
3. Cetakan yang digunakan adalah cetakan kayu dengan ukuran yang sesuai dengan ASTM.
4. Jangka sorong berukuran yang berfungsi untuk mengukur dimensi spesimen dan cetakan agar sesuai dengan ASTM.
5. Pengayakan berfungsi sebagai ayakan yang membuat serbuk hingga halus sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan.
6. Beberapa peralatan penunjang seperti penggaris, gunting, spidol, pensil, kuas, cutter, dan wadah plastik.

3.2 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang diperlukan dalam proses pembuatan komposit papan partikel adalah :

1. Serbuk kayu jati berukuran 10-40 mesh sebagai bahan baku utama komposit papan partikel.
2. Resin epoksi jenis ELKA-311 yang berfungsi sebagai pengikat partikel serbuk kayu jati.
3. Hardener berfungsi sebagai campuran pada resin epoksi supaya campuran serbuk kayu jati dan resin epoksi menjadi lebih keras.

3.3 Volume & Massa Bahan Penelitian

Sebagai contoh untuk perhitungan volume pada spesimen uji bending dengan perhitungan :

Dimensi Spesimen :

Panjang total (P) = 120 mm

Lebar total (L) = 15 mm

Tebal (t) = 7 mm

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

$$= 120 \text{ mm} \times 15 \text{ mm} \times 7 \text{ mm}$$

$$= 12.600 \text{ mm}^3 = 12,6 \text{ cm}^3$$

Untuk perbandingan variasi fraksi massa yang digunakan pada penelitian adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Komposisi Spesimen

No	Massa Serbuk Kayu jati (gram)	Massa Resin Epoksi (gram)
1	5	95
2	10	90
3	15	85

3.4 Proses Pembuatan Komposit

1. Cuci serbuk kayu jati hingga bersih dengan menggunakan larutan aquades supaya serbuk-serbuk steril.
2. Jemur serbuk kayu jati diatas terik sinar matahari hingga kering dengan cara sebelum dijemur serbuk ditimbang untuk mengetahui massa serbuk lalu dijemur, amati perubahan massa serbuk, serbuk akan kering pada penjemuran hari ke 4 dan 5 ditandai dengan massa serbuk yang konstan.



Gambar 1. Pengeringan serbuk

3. Serbuk diayak dengan agayakan ukuran 10 mesh untuk mendapatkan serbuk berukuran 2 mm, serta diayak dengan ayakan berukuran 40 mesh untuk mendapatkan ukuran serbuk 0,4 mm.
4. Untuk matriks pengikat dilakukan proses pencampuran antara resin epoksi dengan hardener dengan perbandingan massa 3:1.
5. Siapkan cetakan dengan menyesuaikan sesuai ASTM alat uji yang kemudian dilapisi dengan aluminium foil.
6. Ukur serbuk kayu jati dan resin epoksi sesuai dengan fraksi massa yang telah ditentukan yaitu dengan perbandingan serbuk dan resin adalah (5% : 95%), (10% : 90%), (15% : 85%).



(a)



(b)

Gambar 2. (a) Mengukur massa serbuk, (b) Mengukur massa resin

7. Campur serbuk kayu jati dengan resin epoksi dan hardener dengan memasukkan serbuk dan resin ke dalam cetakan hingga merata.



Gambar 3. Campur serbuk dan resin

8. Tunggu spesimen hingga kering, dan apabila telah kering lalu spesimen dikeluarkan dari cetakan secara perlahan.



Gambar 4. Spesimen kering

9. Lakukan proses pengulangan dengan proses yang sama sesuai dengan fraksi massa yang telah ditentukan.

4. Hasil dan Pembahasan

Untuk hasil dari Pengujian dan pembahasan yang didapat selama melakukan penelitian adalah sebagai berikut :

4.1 Hasil Uji Impact

Uji impact pada komposit papan partikel serbuk kayu jati dengan resin epoksi ELKA-311 dengan fraksi massa serbuk kayu jati 5%, 10%, dan 15%.



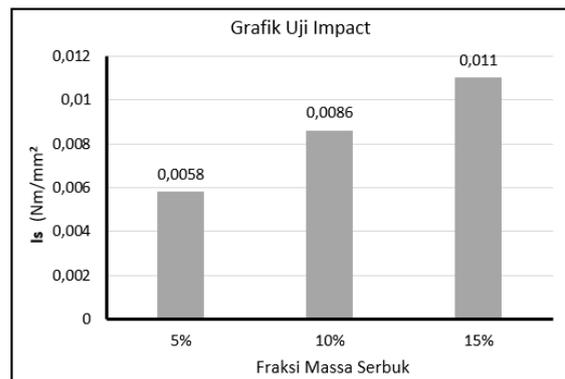
Gambar 5. Proses uji impact

Dari data hasil pengujian dan perhitungan, selanjutnya data-data diplotkan kedalam bentuk tabel dan grafik batang untuk menggambarkan rata-rata hasil dari uji impact.

Berdasarkan grafik hasil uji impact variasi fraksi massa 5% serbuk kayu jati, kekuatan impact sebesar 0,0058 Nm/mm², selanjutnya variasi fraksi massa 10% serbuk kayu jati memiliki kekuatan impact sebesar 0,0086 Nm/mm² mengalami peningkatan 48,27%, sedangkan variasi fraksi massa dengan kekuatan impact terbesar yaitu variasi fraksi massa 15% serbuk kayu jati yaitu sebesar 0,011 Nm/mm² mengalami peningkatan 27,90%. Hasil pengujian impact menunjukkan semakin besar fraksi massa serbuk kayu jati semakin tinggi kekuatan impactnya, karena pada serbuk kayu jati terdapat kandungan lignin yang merupakan material yang paling kuat di dalam biomassa, karena kandungan karbon yang relatif tinggi dibandingkan dengan

hemiselulosa dan selulosa, sehingga memiliki kandungan energi yang tinggi [4]. Sehingga semakin banyak fraksi serbuk kayu jati ditambahkan semakin banyak ligninnya sehingga meningkatkan kekuatan impact.

Variasi Fraksi Massa Resin : Serbuk	α (°)	Pengujian Impact			
		B (°)	ΔE (Nm)	Is (Nm/mm ²)	
5% : 95%	A	150	146	0,43	0,0054
	B	150	145	0,54	0,0067
	C	150	146	0,43	0,0054
Rata-rata					0,0058
10% : 90%	A	150	144	0,66	0,0082
	B	150	144	0,66	0,0082
	C	150	143	0,77	0,0096
Rata-rata					0,0086
15% : 85%	A	150	143	0,77	0,0098
	B	150	142	0,90	0,011
	C	150	141	1,02	0,013
Rata-rata					0,011



Gambar 6. Grafik uji impact

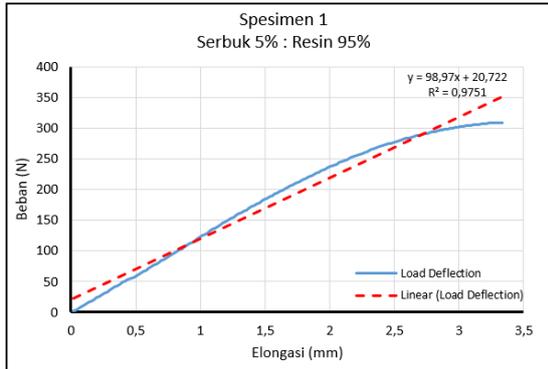
4.2 Hasil Uji Bending

Uji bending pada komposit papan partikel serbuk kayu jati dengan resin epoksi dengan fraksi massa serbuk kayu jati sebesar 5%, 10%, dan 15%.



Gambar 7. Proses uji bending

Tangen garis lurus pada grafik *load deflection*. Berikut contoh hasil grafik dengan variasi fraksi massa 5% : 95% pada spesimen 1.



Gambar 8. Tangen garis lurus grafik load deflection

Tangen garis lurus pada daerah elastis spesimen dengan cara menarik garis linier pada grafik beban dan elongasi pada aplikasi Microsoft excel yang berfungsi sebagai rasio dalam batas elastis pada material tegangan terhadap regangan.

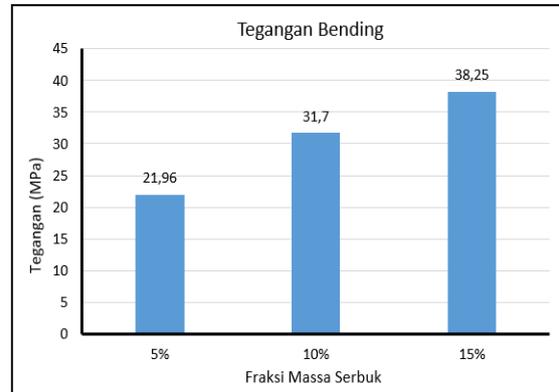
Tabel 3. Hasil perhitungan uji bending

Spesimen Komposit		Penguji Bending		
		σ_L (MPa)	ϵ_L	E_L (MPa)
Variasi Fraksi Massa Resin : Serbuk 5% : 95%	A	25,21	0,087	307,78
	B	18,13	0,079	245,61
	C	22,53	0,074	320,77
Rata-rata		21,96	0,080	291,38
Variasi Fraksi Massa Resin : Serbuk 10% : 90%	A	28,06	0,059	466,90
	B	35,73	0,045	830,53
	C	31,33	0,050	635,46
Rata-rata		31,70	0,051	644,29
Variasi Fraksi Massa Resin : Serbuk 15% : 85%	A	36,95	0,047	837,31
	B	37,46	0,040	1007,70
	C	40,36	0,056	738,67
Rata-rata		38,25	0,048	861,22

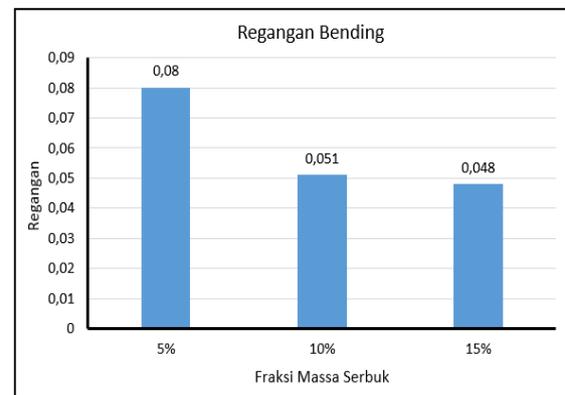
Dari grafik tersebut semakin tinggi fraksi massa serbuk kayu jati, semakin tinggi tegangan bending. Variasi fraksi massa 5% serbuk kayu jati, tegangan bending sebesar 21,96 MPa, lalu variasi fraksi massa 10% serbuk kayu jati tegangan bending sebesar 31,70 MPa mengalami peningkatan 44,3%. Sedangkan variasi fraksi massa dengan tegangan terbesar adalah variasi fraksi massa 15% serbuk kayu jati sebesar 38,25 MPa mengalami peningkatan 20,66%.

Regangan bending, spesimen dengan variasi serbuk kayu jati 15% mendapatkan hasil regangan terkecil yaitu sebesar 0,048. Selanjutnya spesimen dengan variasi serbuk kayu jati 10% memiliki nilai

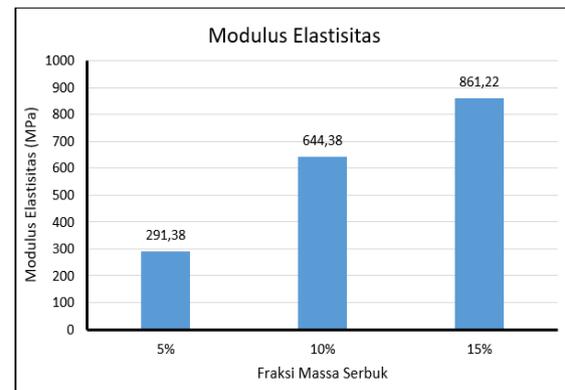
regangan sebesar 0,051 mengalami peningkatan 6,25%, regangan tertinggi yaitu variasi serbuk kayu jati 5% dengan nilai regangan bending yaitu 0,080 mengalami peningkatan 56,86%..



Gambar 9. Grafik tegangan



Gambar 10. Grafik regangan



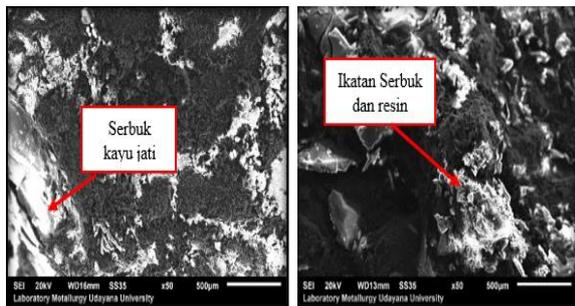
Gambar 11. Grafik modulus elastisitas

Modulus elastisitas, spesimen dengan variasi serbuk kayu jati 5% memiliki nilai modulus elastisitas yang paling rendah yaitu sebesar 291,38 MPa. Selanjutnya spesimen dengan variasi fraksi massa serbuk kayu jati 10% memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 644,29 MPa mengalami peningkatan 121,11%. Sedangkan nilai modulus elastisitas yang paling kecil adalah spesimen dengan variasi serbuk kayu 15% dengan nilai modulus elastisitas bending 861,22 MPa mengalami peningkatan 33,67%.

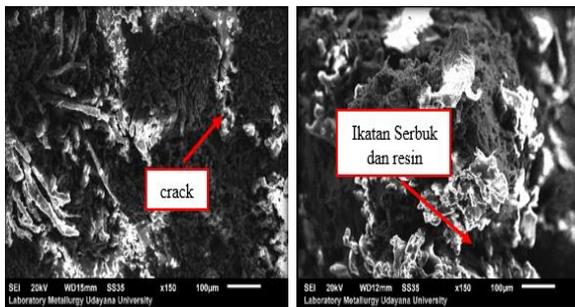
Hasil tersebut menandakan tegangan berbanding lurus dengan modulus elastisitas yaitu semakin banyak serbuk kayu jati yang digunakan, maka hasil tegangan bending dan modulus elastisitasnya akan semakin meningkat [5]. Hal ini karena semakin meningkatnya fraksi massa serbuk kayu jati maka komposit papan partikel mampu menahan beban pengujian bending yang diberikan kepada spesimen, karena serbuk kayu jati didistribusikan secara merata pada semua bagian spesimen.

4.3. Hasil Uji SEM

Uji SEM (*Scanning Electron Microscope*) pada penelitian ini menggunakan pembesaran 50 kali dan 150 kali untuk mengetahui morfologi komposit.



Gambar 12. Hasil uji SEM variasi 15% ; 85% pembesaran 50x



Gambar 13. Hasil uji SEM variasi 15% :85% pembesaran 150x

Uji SEM dengan perbesaran 50x dan 150x pada spesimen dengan variasi fraksi massa 15% : 85% dilakukan untuk mendukung hasil dari uji impact, uji bending dan uji daya serap air, serta untuk membuktikan kerapatan dan ikatan yang terjadi antara serbuk kayu jati dengan resin epoksi. Serbuk kayu jati terdistribusi secara merata keseluruhan bagian komposit yang menyebabkan kerapatan lebih tinggi sehingga memiliki kemampuan daya serap air yang kecil. Dari gambar uji SEM tersebut juga memiliki rongga yang kecil yang menunjukkan semakin kecil rongga semakin baik ikatan yang terjadi antara serbuk kayu jati dengan resin epoksi sehingga dapat meningkatkan kekuatan dari spesimen hal ini juga sejalan dengan hasil pengujian kekuatan bending dan kekuatan impact dimana variasi fraksi massa 15% : 85% memiliki kekuatan yang paling besar.

4.4 Hasil Uji Daya Serap Air

Pada uji daya serap air untuk proses perendaman spesimen menggunakan larutan aquades yang direndam selama 24 jam dengan menggunakan standar ASTM D570-98.

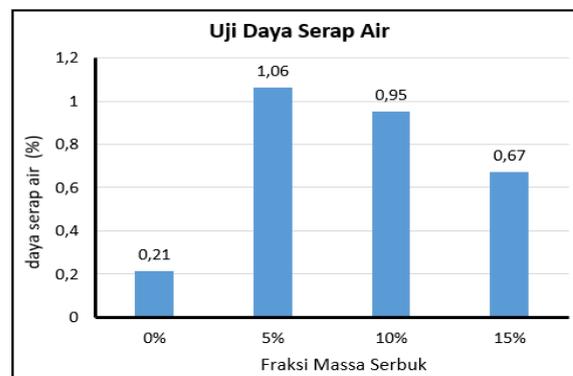


Gambar 14. Perendaman spesimen

Dari data hasil pengujian dan perhitungan, selanjutnya data-data diplotkan kedalam bentuk tabel dan grafik batang untuk menggambarkan rata-rata hasil dari uji daya serap air.

Tabel 4. Hasil perhitungan uji daya serap air

Spesimen Komposit	Pengujian Daya Serap Air			
	Massa Kering (Gram)	Massa Basah (Gram)	Daya Serap Air (%)	
Variasi Fraksi Massa Resin : Serbuk 5% : 95%	A	7,02	7,09	0,99%
	B	7,28	7,37	1,23%
	C	8,15	8,23	0,98%
Rata-rata			1,06%	
Perbandingan Resin : Serbuk 10% : 90%	A	7,24	7,32	1,10%
	B	7,46	7,52	0,80%
	C	7,45	7,52	0,94%
Rata-rata			0,95%	
Perbandingan Resin : Serbuk 15% : 85%	A	7,29	7,34	0,68%
	B	8,23	8,29	0,73%
	C	8,45	8,50	0,59%
Rata-rata			0,67%	



Gambar 15. Grafik daya serap air

Berdasarkan grafik uji daya serap air pada komposit papan partikel serbuk kayu jati dengan resin epoksi variasi fraksi massa 5% serbuk kayu jati, daya serap air yaitu sebesar 1,06%, selanjutnya variasi fraksi massa 10% serbuk kayu jati memiliki daya serap air sebesar 0,95% mengalami penurunan 10,37%. Sedangkan variasi fraksi massa dengan daya serap air terkecil yaitu variasi fraksi massa 15% serbuk kayu jati sebesar 0,67% mengalami penurunan 29,47%. Untuk daya serap air dengan fraksi massa resin epoksi 100% memiliki daya serap air sebesar 0,21% yang berarti sifat asli resin yang pada awalnya memiliki daya serap air yang rendah akan tetapi saat mulai ditambahkan fraksi massa serbuk kayu jati 5%, 10%, dan 15% serbuk mengalami peningkatan daya serap air, pada fraksi massa serbuk 5% maka massa resinnya adalah 95% yang berarti meningkatnya fraksi massa resin meningkat pula fraksi massa hardener. Semakin besar hardener ditambahkan maka semakin banyak rongga-rongga kecil pada komposit [6]. Akan tetapi tidak berlaku apabila hanya 100% resin karena resin tidak mengikat apapun sehingga tidak terbentuk rongga akibat pencampuran serbuk dan resin.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan tentang pengaruh variasi fraksi massa pada komposit dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hasil uji impact menunjukkan penambahan fraksi massa serbuk kayu jati pada komposit mempengaruhi peningkatan kekuatan impact, spesimen dengan variasi fraksi massa terbaik adalah 15% : 85% yang memiliki kekuatan impact tertinggi yaitu sebesar 0,011 Nm/mm².
2. Hasil uji bending menunjukkan penambahan fraksi massa serbuk kayu jati pada komposit mempengaruhi peningkatan kekuatan bending. Spesimen dengan variasi fraksi massa terbaik adalah 15% : 85% yang memiliki nilai tertinggi yaitu tegangan bending sebesar 38,25 Mpa, modulus elastisitas 861,22 MPa, dan memiliki regangannya terendah sebesar 0,048.
3. Hasil uji SEM menunjukkan morfologi pada variasi fraksi massa 15% : 85% memiliki ikatan dan kerapatan yang baik pada serbuk kayu jati yang sebagai penguat dan resin epoksi sebagai pengikat.
4. Hasil uji daya serap air menunjukkan penambahan fraksi massa serbuk kayu jati pada komposit mempengaruhi penurunan daya penyerapan air. Spesimen dengan variasi fraksi massa terbaik adalah 15% : 85% yang memiliki nilai daya serap air terendah, yaitu sebesar 0,67%.

Daftar Pustaka

- [1] Pamungkas, D. C., Jokosisworo, S., Santosa, A. W. B., 2017, *Analisa Teknis Kekuatan Mekanis Material Komposit Berpenguat Serat*

Tanaman Mendong (Fimbristylis Globulosa) Ditinjau dari Kekuatan Bending dan Impak, Universitas Diponegoro, Semarang, Vol. 5 No. 2, pp. 397-407.

- [2] Siregar, I. C. R., Yudo, H., Kiryanto., 2017, *Analisa Kekuatan Tarik dan Tekuk Pada Sambungan Pipa Baja dengan Menggunakan Kanpe Clear NF Sebagai Pengganti Las*, Universitas Diponegoro, Semarang, Vol. 5 No. 4, pp. 716-725.
- [3] Prasetyo, 2011, *Scanning Electron Microscope (SEM) dan Optical Emission Spectroscopy (OES)*, www.wordpress.com.
- [4] Kondo, Y., Arsyad, M., 2018, *Analisis Kandungan Lignin, Sellulosa, dan Hemisellulosa Serat Sabut Kelapa Akibat Perlakuan Alkali*, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makasar, Vol. 5 No. 2, pp. 94-97.
- [5] Sudarsono, Rusianto T., Suryadi Y., 2010, *Pembuatan Papan Partikel Berbahan Baku Sabut Kelapa Dengan Bahan Pengikat Alami (Lem Kopal)*, Institut Sains dan Teknologi AKPRIND, Yogyakarta, Vol. 3 No. 1, pp.
- [6] Izaak, F.D., Rauf, F. A., Lumintang, R., 2013, *Analisis Sifat Mekanik Dan Daya Serap Air Material Komposit Serat Rotan*, Politeknik Negeri Bengkalis, Riau, Vol. 2 No. 2.



I Made Satria Wibawa menyelesaikan studi S1 pada program studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bali dari tahun 2017 sampai tahun 2021.

Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan komposit serta karakteristik suatu material.

Performansi Pendinginan Kombinasi Sistem *Direct* Dan *Indirect Evaporative Cooling*

I Made Yudi Darmawan, Hendra Wijaksana, dan N.Suarnadwipa
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit, Jimbaran Bali

Abstrak

Pertumbuhan jumlah penduduk yang demikian pesat, mendorong meningkatnya pembangunan gedung-gedung apartemen untuk tempat tinggal terutama di kota-kota besar. Pembangunan gedung apartemen dan perkantoran yang pesat ini, diikuti dengan meningkatnya kebutuhan akan input energi listrik terutama untuk memenuhi kebutuhan penggunaan air conditioning (AC) berbasis kompresor. Dew Point Evaporative Cooler merupakan sebuah mesin pendingin yang menggunakan prinsip evaporative cooling. Pendinginan evaporative ini secara teknik disebut dengan pendinginan adiabatik yang merupakan proses pengkondisian udara yang dilakukan dengan membiarkan kontak langsung antara udara dengan uap air sehingga terjadi perubahan dari panas sensibel menjadi panas laten. Variabel yang diukur pada penelitian ini adalah variasi kelembaban dengan Kecepatan aliran udara 4,8 m/s, 9,5 m/s, dan 11,3 m/s. Cooling capacity performansi yang tertinggi pada system kombinasi direct dan indirect evaporative cooling terjadi pada kecepatan aliran udara tertinggi $V_3 = 11.3 \text{ m/s}$. Dimana besar Cooling Effectiveness = 2,294, Dry Bulb temperature Drop = 6,425°C, Cooling Capacity = 3,6 kW, ER = 4,1, dan nilai total rata-rata kelembaban udara (ΔRH) pada kecepatan aliran udara $V_1 = 61,15\%$, $V_2 = 83,025\%$, dan $V_3 = 91,325\%$.

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

Abstract

The rapid population growth has prompted the construction of apartment buildings for residence, especially in big cities. The rapid development of apartment and office buildings was followed by a search for the need for electrical energy input, especially to meet the need for compressor-based air conditioning (AC). Dew Point Evaporative Cooler is a cooling machine that uses the principle of evaporative cooling. This evaporative cooling is technically called adiabatic cooling which is an air conditioning process that is carried out by allowing direct contact between air and air vapor so that it occurs from sensible heat to latent heat. The variables measured in this study were variations in humidity with air flow velocities of 4.8 m/s, 9.5 m/s, and 11.3 m/s. The highest cooling capacity performance in the combined direct and indirect evaporative cooling system occurs at the highest air flow velocity $V_3 = 11.3 \text{ m/s}$. Where the cooling efficiency = 2.294, the temperature drop in dry bulb = 6.425°C, the cooling effectiveness = 3.6 kW, ER = 4.1, and the value The total average air humidity (ΔRH) at air flow velocity $V_1 = 61.15\%$, $V_2 = 83.025\%$, and $V_3 = 91.325\%$.

Keywords: Dew Point Evaporative Cooling, Humidity Variation, Temperature

1. Pendahuluan

Pertumbuhan jumlah penduduk yang demikian pesat, mendorong meningkatnya pembangunan gedung-gedung apartemen untuk tempat tinggal terutama di kota-kota besar. Pembangunan gedung apartemen dan perkantoran yang pesat ini, diikuti dengan meningkatnya kebutuhan akan input energi listrik terutama untuk memenuhi kebutuhan penggunaan air conditioning (AC) berbasis kompresor. Hampir 60% energi listrik pada gedung dan apartemen, digunakan untuk penggunaan AC, untuk mendapatkan kenyamanan udara ruangan, yakni 22°C- 25°C dengan kelembaban relatif udara (Relative Humidity) 40%-60% [1] dimana temperature dan kelembaban udara rata-rata di Indonesia cukup tinggi yakni sekitar 30°C – 35°C dan dengan tingkat kelembaban relative antara 70 – 80% evaporative cooling (DEC) dan indirect evaporative cooling (IEC).

2. Dasar Teori

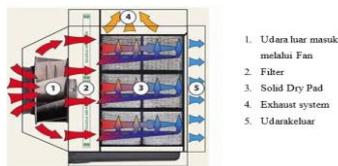
2.1. Mengetahui Dew Point Evaporative Cooler

Dew Point Evaporative Cooler merupakan sebuah mesin pendingin yang menggunakan prinsip evaporative cooling. Pendinginan evaporative ini secara teknik disebut dengan pendinginan adiabatic yang merupakan proses pengkondisian udara yang dilakukan dengan membiarkan kontak langsung antara udara dengan uap air sehingga terjadi perubahan dari panas sensibel menjadi panas laten.

Syarat agar proses pendinginan dew point evaporative dapat berlangsung dengan baik adalah kondisi lingkungan yang panas dan kering, yaitu lingkungan yang memiliki suhu tinggi dan temperatur bola basah yang relatif rendah. Dibandingkan dengan sistem pendingin refrigerasi, pendingin dew point evaporative jauh lebih murah. Biaya awal yang dikeluarkan untuk membuat sebuah sistem pendingin evaporative hanya sekitar satu per empat kali dari biaya awal sebuah system pendingin refrigerasi untuk ukuran yang sama.

2.2. Desain Dew Point Evaporative Cooling

Dew point evaporative cooling merupakan titik embun udara artinya suhu dimana udara mulai mengembun menimbulkan titik-titik air. *Supply Fan* mengalirkan udara luar (out door air) hingga bersentuhan dengan sisi permukaan *pads* yang dingin, karena berisikan *dry ice (secondary air)* yang suhunya relative rendah. Setelah itu terjadi perpindahan panas antara udara yang mengalir di luar *fan* dengan udara yang berada didalam melalui permukaan *pad*, Udara yang didalam suhunya akan menjadi naik dan pada saat bersamaan pada sisi lain *pads* bersentuhan dengan *solid dry tube* sehingga terjadi proses *dew point evaporative cooling*.



Gambar 1. Indirect Evaporative Cooler

2.3. Performansi Pendinginan Evaporative

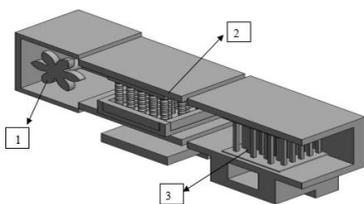
Penurunan temperatur bola kering udara (ΔT_{db}) dapat didefinisikan sebagai selisih antara temperature bola kering udara memasuki sistem dengan temperatur bola kering udara keluar sistem.

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

3. Metode penelitian

3.1. Pemodelan Pengujian

Untuk mempermudah pengujian *direct evaporative cooling* dan *indirect evaporative cooling* berbasis *Staggered solid dry pad* maka dibuat pemodelan alat seperti gambar berikut ini :



Gambar 2. Desain Pengujian Dew Point Cooling System

Keterangan Gambar

1. Fan dengan pengaturan regavolt
2. Direct Evaporative Cooling
3. Staggered Solid Dry Pad

3.2. Prosedur Penelitian

Pengujian DEC dan IEC system ini dilakukan dengan memvariasikan kecepatan aliran udara yang masuk pada pads. Adapun langkah-langkah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

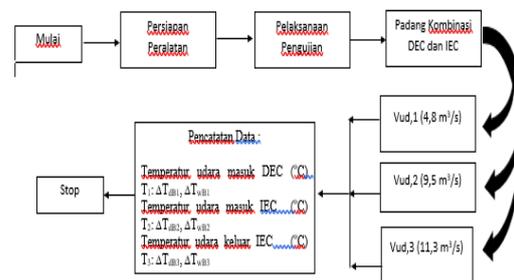
- a. Persiapkan peralatan dan perlengkapan yang

akan digunakan.

- b. Atur putaran fan pada kecepatan udara $V_{ud,1} = 4.8 \text{ m/s}$.
- c. Pasang DEC dan IEC.
- d. Setelah sistem siap, hidupkan fan, lakukan pencatatan temperature bola kering dan bola basah pada sisi masuk dan keluar DEC, dan IEC, setiap 15 menit dalam rentang waktu selama 60 menit.
- e. Lakukan pengulangan b-d untuk kecepatan aliran udara $V_{ud,2}$ dan $V_{ud,3}$
- f. Analisa hasil pengujian.

3.3. Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

4. Hasil Dan Pembahasan

4.1. Data Penelitian

Dari penelitian yang dilakukan, diambil tiga (3) variasi kecepatan udara yaitu:

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

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

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

4.2. Data Temperatur

4.2.1. Pengujian SDP Variasi Kecepatan Aliran Udara 4,8 m/s

Tabel 1. Data Performansi SDP Variasi Kecepatan Aliran dara 4,8m/s

Time /Second	T1(°C)		T2(°C)		T3(°C)	
	TdB1	TwB1	TdB2	TwB2	TdB3	TwB3
15 Menit	30	27,5	28,5	25,3	21,8	17,6
30 Menit	30	27,5	28,6	25,4	24,7	19,5
45 Menit	30	27,5	29	25,6	26,2	21,5
60 Menit	30	27,5	29	25,5	26,5	22,9
Rata-Rata	30	27,5	28,775	25,375	24,8	20,375

4.2.2. Pengujian SDP Variasi Kecepatan Aliran Udara 9,8 m/s

Tabel 2. Data Performansi SDP Variasi Kecepatan Aliran dara 9,5m/s

Time /Second	T1(0C)		T2(0C)		T3(0C)	
	TdB1	TwB1	TdB2	TwB2	TdB2	TwB2
15 Menit	30	27	28,9	25,3	22,3	20,3

30 Menit	30	27	29	25,5	24,8	23
45 Menit	30	27	29,1	25,6	26,7	24,2
60 Menit	30	27	29,1	25,6	27,2	24,9
Rata-Rata	30	27	29,025	25,5	25,25	23,1

4.2.3. Pengujian SDP Variasi Kecepatan Udara 11,3 m/s

Tabel 3. Data Performansi SDP Variasi Kecepatan Aliran dara 11,3m/s

Time /Second	T1(OC)		T2(OC)		T3(OC)	
	TdB1	TwB1	TdB2	TwB2	TdB3	TwB3
15 Menit	29,8	27	27,9	24	20,3	20,4
30 Menit	29,8	27	28,1	24	23,1	22,1
45 Menit	29,8	27	28,2	24,1	24,5	23,1
60 Menit	29,8	27	28,2	24,3	25,6	23,6
Rata-Rata	29,8	27	28,1	24,1	23,375	22,3

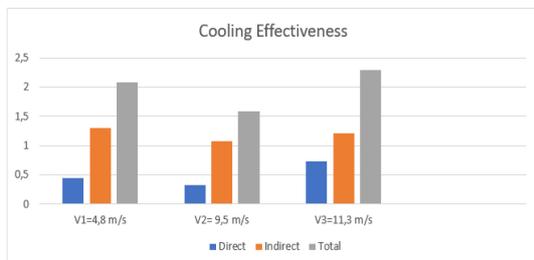
4.3. Performansi Pendingin Evaporative Cooling

4.3.1. Cooling Effectiveness

Efektivitas ini dapat didefinisikan sebagai penurunan temperatur bola kering yang dihasilkan dibagi dengan selisih temperatur bola kering dan temperatur bola basah udara yang memasuki system [2].

$$\epsilon = \frac{T_{dB,1} - T_{dB,4}}{T_{dB,1} - T_{wB,1}} \quad (1)$$

Gambar diagram menunjukkan suhu temperatur dari direct ke indirect mengalami penurunan temperature, dan hasil akhir dari direct dan indirect juga mengalami penurunan temperatur.



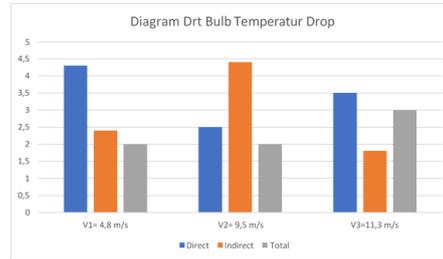
Gambar 4. Diagram Cooling Effectiveness

4.3.2. Dry Bulb Temperature Drop

Penurunan temperatur bola kering udara (ΔT_{dB}) dapat didefinisikan sebagai selisih antara temperatur bola kering udara memasuki

sistem dengan temperatur bola kering udara keluar system [3].

$$\Delta T_{dB} = T_{dB,1} - T_{dB,4} \quad (2)$$



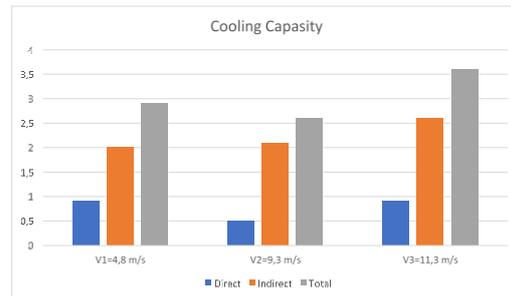
Gambar 5. Diagram Dry Bulb Temperatur Drop

Gambar diagram diatas dapat dilihat dari nilai hasil diagram direct selalu lebih besar dari nilai hasil diagram total.

4.3.3. Cooling Capacity

Kapasitas pendinginan adalah mengukur kemampuan system pendinginan untuk menghilangkan panas. Kapasitas pendinginan ruangan (q_s) dapat dihitung dengan persamaan. Untuk menentukan kapasitas pendinginan *sensible*, dapat dihitung dengan persamaan berikut dalam satuan (kW) [4].

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



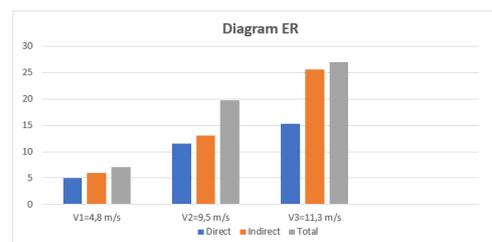
Gambar 6. Diagram Cooling Capacity

Gambar diagram diatas dapat dilihat nilai cooling capacity mengalami peningkatan dari direct ke indirect, dan nilai totalnya juga mengalami peningkatan dalam kapasitas pendinginan.

4.3.4. Energy Ratio (ER)

Energy ratio (EER) merupakan hasil bagi antara kapasitas pendinginan sensibel dengan jumlah konsumsi energi pendinginan [5].

$$EER = \frac{Q \rho C_p (T_{dB,i} - T_{dB,o})}{P_t} \quad (4)$$



Gambar 7. Diagram ER

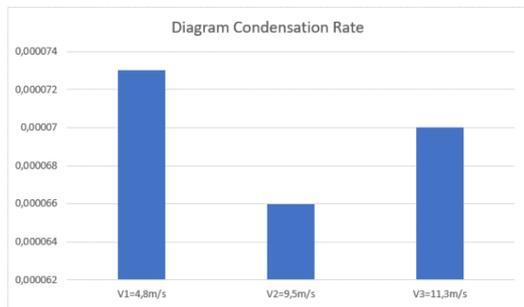
Gambar diagram di diatas dapat dilihat jumlah komsumsi energi mengalami peningkatan dari direct ke indirect dan jumlah total juga mengalami peningkatan ER.

4.3.5. Condensation Rate

Tabel 4. Penyerapan Massa Kondesat

Kecepatan Aliran Udara (m/s)	Waktu (menit)	Massa Awal (kg)	Massa Akhir (kg)
4,8 m/s	60	0,075	0,340
9,5 m/s	60	0,075	0,316
11,3 m/s	60	0,075	0,331

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



Gambar 8. Diagram Condensation Rate

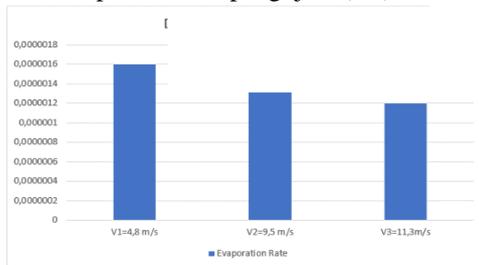
Gambar diagram diatas dapat dilihat bahwa condensation rate V1 ke V3 mengalami penurunan kondensat.

4.3.6. Evaporative Rate

Tabel 5. Evaporation Rate

Kecepatan Udara (m/s)	Waktu (menit)	Massa Awal (Kg)	Massa Akhir (kg)
4,8	60	10,9	9,9
9,5	60	11,2	10,7
11,3	60	15,9	11,3

Penguapan atau evaporation merupakan proses perubahan molekul dari fase zat cair saat berubah menjadi fase gas. Besarnya laju penguapan (evaporation) yang terjadi dapat dihitung dengan perbedaan berat kapas sebelum pengujian (ma_0) dengan berat kapas sesudah pengujian (ma).



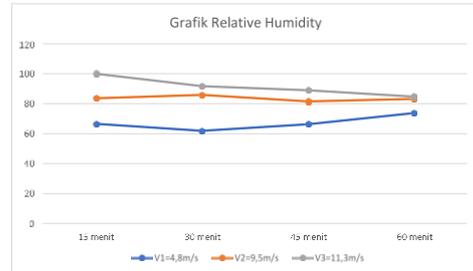
Gambar 9. Diagram Evaporation Rate

Gambar diagram diatas dapat dilihat bahwan evaporative rate yang terjadi dai V1 ke V3 mengalami penurunan penguapan yang terjadi

dikarakan kecepatan aliran udara yang mengalami peningkatan.

4.3.7. Relative Himidity (RH)

Kelembaban Udara (RH) merupakan kadar uap air yang ada di udara atau rasio antara tekanan uap air actual pada temperatur tertentu dengan tekanan uap air jenuh pada temperatur tersebut



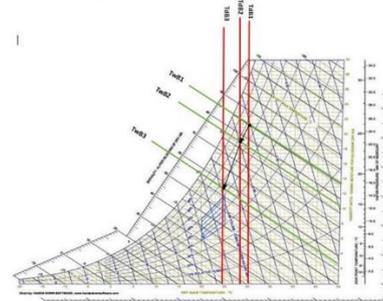
Gambar 10. Grafik Relative Humidity

Gambar grafik diatas menunjukkan hasil dari lama pengukuran yang terjadi dari 15, sampe 60 menit.

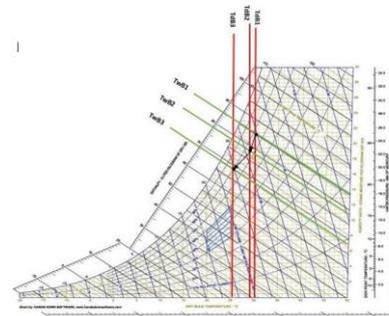
waktu	V1 = 4,8 m/s	V2 = 9,5 m/s	V3 = 11,3 m/s
15 Menit	66,5%	83,6%	100%
30 Menit	61,9%	85,9%	91,7%
45 Menit	66,3%	81,5%	88,9%
60 Menit	73,8%	83,1%	84,7%
Rata-Rata	67,15%	83,025%	91,325%

Tabel diatas menunjukkan hasil pengukuran yang terjadi dari 15 menit sampe 60 menit.

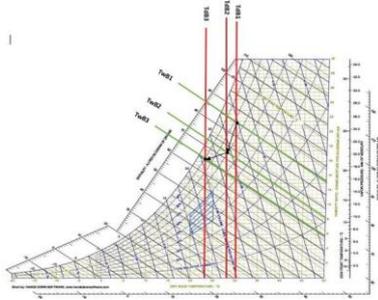
4.3.8. Grafik Psychometri



Gambar 11. Grafik Psychmetrik (a)



Gambar 12. Grafik Psychmetrik (b)



Gambar 13. Grafik Psychometrik (c)

Grafik Psychrometri pada Kecepatan Aliran udara 4,8 m/s, 9,8m/s, dan 11,3m/s mengalami proses yang sama yaitu menunjukkan udara mengalami proses pendinginan dan dehumidifikasi, kemudian pendinginan dan dehumidifikasi.

5. Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari pengujian eksperimental skala laboratorium pada performansi pendinginan kombinasi sistem *direct* dan *indirect evaporative*.

1. Performansi pendinginan tertinggi didapat pada $V_3=11.3\text{m/s}$ dimana besar Cooling Effectiveness= 2,294 , Dry Bilb temperature Drop= 6,425°C , Cooling Capacity= 3,6 kW , ER= 27 , sedangkan untuk Condensation Rate = 0,000073 m^3/s ,dan Evaporative Rate= 0,0000016 m^3/s yang tertinggi terjadi di $V_1=4,8\text{ m/s}$.
2. Selisih kelembaban udara (ΔRH) pada kecepatan aliran udara yang terjadi pada $V_1= 15,5\%$, $V_2=7,9\%$ dan selisih kelembaban udara di $V_3=15,5\%$.

Daftar Pustaka

- [1] ASHRAE standart 62-1989, 1969, ASHRAE, Washington DC,
- [2] Harris, Norman C., 1991, *Modern Air Conditioning Practice*, McGraw-Hill, inc.
- [3] Putra Toni Dwi, dan Finahari Nurida, 2011, *Pengaruh Perubahan Temperatur Media Pendingin Pada Direct Evaporative Cooler*, Journal Proton, Vol. 3, No. 1.
- [4] Holman J.P., 1986, *Heat Transfer*, Amerika Serikat: Erlangga.
- [5] Effatnejad R, Salehian A.B, 2009, *Standard of Energy Consumption And Energy Labeling In Evaporative Air Cooler in Iran*, Jurnal IJTPE, Vol.1, No. 1.



I Made Yudi Darmawan

Menyelesaikan studi program sarjana di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2021.

Topik penelitian Performansi Pendinginan Kombinasi Sistem *Direct dan Indirect Evaporative Cooling*.

Pengaruh Variasi Kecepatan Aliran Udara Pada Evaporative Cooling Kombinasi Indirect Dan Direct

I Made Purnamayanto, Hendra Wijaksana dan N. Suarnadwipa
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Negara kita adalah negara tropis dengan suhu udara rata-rata sekitar 30 – 35°C dan dengan tingkat kelembaban relative antara 70 – 80% , sedangkan standar kenyamanan yang dibutuhkan adalah 22°C - 25°C dengan kelembaban relatif udara (Relative Humidity) 40%-60%. Dengan demikian kebutuhan akan energi pendinginan demikian besar untuk memenuhi standar kenyamanan bagi bangunan gedung dan apartemen , dimana hampir 60% dari energi listrik yang tersedia digunakan untuk air conditioning (AC). Tingginya tingkat konsumsi energi listrik untuk AC ini, telah mendorong para peneliti untuk mengembangkan sistim pendinginan yang lebih hemat energi dan ramah lingkungan. Permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini yaitu bagaimana pengaruh variasi kecepatan aliran udara terhadap performansi pendingin kombinasi indirect evaporative cooling (IEC) dan direct evaporative cooling (DEC). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis performansi pendingin kombinasi indirect evaporative cooling dan direct evaporative cooling terhadap variasi kecepatan aliran udara. Dengan kesimpulan cooling capacity pada system kombinasi Indirect dan Direct evaporative cooling terjadi pada kecepatan aliran udara $V_1 = 4,8$ m/s dimana besar Cooling Efficiency= 2,1 , Dry Bulb temperature Drop= 4,2°C, Cooling Capacity= 0,996 kW, ER= 0,962 , Condensation Rate= 0,259 m³/s ,dan Evaporative Rate= 0,0039 m³/jam. Dan nilai Rata-rata kelembaban udara (ΔRH) pada kecepatan aliran udara $V_1 = 92,3\%$, $V_2 = 94,7\%$, dan $V_3 = 76,6\%$.

Kata kunci: Pendingin, Kelembaban Udara, Disain Alat, dan Kombinasi pendinginan Indirect dan Direct.

Abstract

Our country is a tropical country with an average air temperature of around 30-35°C and with a relative humidity level between 70-80%, while the standard of comfort required is 22 °C - 25 °C with a relative humidity of 40% - 60%. Thus the need for cooling energy is so great to meet comfort standards for buildings and apartments, where nearly 60% of the available electrical energy is used for air conditioning (AC). The high level of electrical energy consumption for air conditioning has prompted researchers to develop a cooling system that is more energy efficient and environmentally friendly. The problem discussed in this study is how the effect of variations in air flow velocity on the cooling performance of the combination of indirect evaporative cooling (IEC) and direct evaporative cooling (DEC). The purpose of this study was to analyze the cooling performance of a combination of indirect evaporative cooling and direct evaporative cooling on variations in air flow velocity. With the conclusion that the highest performance cooling capacity in the combination system of Indirect and Direct evaporative cooling occurs at the highest air flow velocity $V_1 = 4.8$ m / s where the large Cooling Efficiency = 2.1, Dry Bulb temperature Drop = 4.2°C, Cooling Capacity = 0.996 kW, ER = 0.962, Condensation Rate = 0.259 m³ / s, and Evaporative Rate = 0.0039 m³ / hour. And the average air humidity (ΔRH) value at the air flow velocity $V_1 = 92.3\%$, $V_2 = 94.7\%$, and $V_3 = 76.6\%$.

Keywords: Cooling, Air Humidity, Tool Design, and Combination of Indirect and Direct cooling.

1. Pendahuluan

Peningkatan yang pesat pada berdirinya bangunan-bangunan gedung besar dan apartemen, memicu peningkatan penggunaan energi bahan bakar fosil yang kian meningkat tajam. Negara kita adalah negara tropis dengan suhu udara rata-rata sekitar 30 – 35°C dan dengan tingkat kelembaban relative antara 70 – 80% , sedangkan standar kenyamanan yang dibutuhkan adalah 22°C - 25°C dengan kelembaban relatif udara (Relative Humidity) 40%-60%. (ASHRAE standart 62-1989 ASHRAE, Washington DC (1989))[1].

Dengan demikian kebutuhan akan energi pendinginan demikian besar untuk memenuhi standar kenyamanan bagi bangunan gedung dan apartemen, dimana hampir 60% dari energi listrik yang tersedia digunakan untuk air conditioning (AC). Tingginya tingkat konsumsi energi listrik untuk AC ini, telah mendorong para peneliti untuk mengembangkan sistim pendinginan yang lebih hemat energi dan

ramah lingkungan. Sistim pendingin yang banyak dikembangkan diantaranya sistim pendingin absorpsi bertenaga surya, sistim pendingin adsorpsi, liquid and solid desiccant cooling system, dan juga sistim pendingin evaporative baik yang direct, indirect evaporative cooling. Perkembangan sistim pendingin evaporative cukup luas, karena sistim ini hanya memerlukan air dan udara sebagai energi penggerak sistim dan memiliki konstruksi yang sederhana. Sistim indirect evaporative cooling (IEC) memiliki kedekatan karakteristik dengan sistim pendingin AC, dalam hal penanganan kandungan uap air udara sebagai beban laten pendinginan. Sistim AC yang berbasis kompresor, menangani beban laten pendinginan ini dengan proses kondensasi uap air udara melalui evaporator, sehingga terjadi penurunan tingkat kelembaban yang cukup signifikan dan udara menjadi dingin dan kering. Sedangkan sistim IEC melakukan pendinginan udara tanpa terjadi penurunan tingkat kelembaban udara, dimana

kandungan uap air (moisture) udara konstan. (Bogdan Porumb et.al, 2016). Dengan demikian dapat dikatakan bahwa sistim IEC akan menghasilkan udara dingin dan moisture konstan (tetap basah untuk di negara kita). Kelemahan yang paling menyolok dari sistim IEC adalah konsumsi air yang begitu tinggi, dimana air digunakan untuk proses penguapan yang menghasilkan efek pendinginan bagi sistim IEC [2].

Batasan masalah yang akan diterapkan dalam penelitian ini adalah:

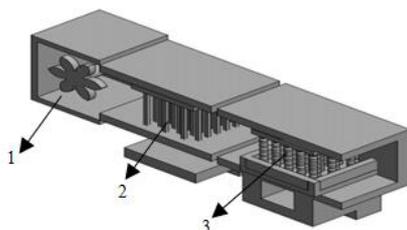
1. Temperatur lingkungan dianggap konstan.
2. Kecepatan aliran udara sepanjang saluran dianggap konstan.
3. Proses perpindahan panas dan massa akibat jumlah dan susunan pipa tidak diperhitungkan.

2. Dasar Teori

Ini merupakan sebuah mesin pendingin yang menggunakan prinsip evaporative cooling. Model pendingin seperti ini biasanya disebut dengan pendinginan adiabatik yang merupakan proses pengkondisian udara yang dilakukan dengan membiarkan kontak langsung antara udara dengan uap air sehingga terjadi perubahan dari panas sensibel menjadi panas laten. Perpindahan suatu panas sensibel terjadi karena perbedaan suhu dan panas laten terjadi dari perpindahan massa yang dihasilkan dari penguapan sebagian dari air yang bersirkulasi dan temperatur bola kering udara akan menurun dalam proses ini. Apabila proses waktu kontak air dan udara mencukupi, maka udara akan mencapai kondisi saturasi. Apabila kondisi equilibrium tercapai, pengondisian temperatur air turun hingga sama dengan temperatur bola basah udara. Secara umum akan didapat hasil di bahwa temperatur bola basah udara sebelum dan sesudah proses adalah sama, karena proses semacam ini terjadi di garis bola basah (wB) yang konstan [3].

3. Metode Penelitian

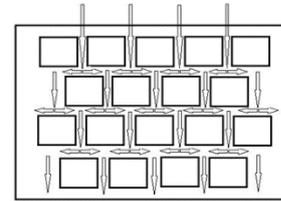
Variabel bebas meliputi variasi kecepatan aliran udara 4.8 m/s, 9.5 m/s dan 11.3 m/s. Variabel terikat meliputi variabel yang besarnya tergantung dari variabel bebas yang dapat digunakan peneliti untuk merumuskan hipotesis, yakni: Peforma sistem pendingin indirect evaporative cooling termasuk didalamnya cooling efficiency, energy efficiency ratio (EER), cooling capacity, dry bulb temperature drop, condensation rate, system efficiency, evaporative.



Gambar 1. Pemodelan Pengujian

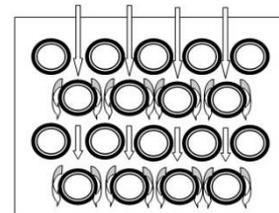
Keterangan gambar:

1. Fan dengan pengaturan regavolt
2. Staggered Solid Dry Pad
3. Indirect Evaporative Cooling



Gambar 2. Indirect Pad

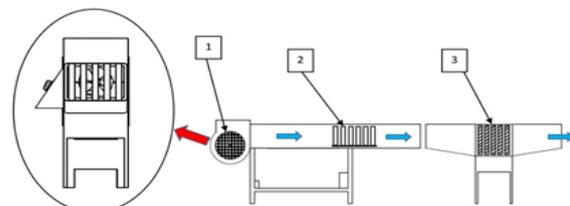
Gambar diatas merupakan rancangan indirect pad yang di susun secara staggered dan akan di isi oleh dry ice dengan pengisian 100%.



Gambar 3. Rancangan Direct Pad

Gambar diatas merupakan rancangan dari direct pad yang di buat dari pipa pvc 1/2 inc.

Cara kerja alat pengujian dimana udara luar akan mengalir memasuki Indirect Evaporative dan Direct Evaporative secara berurutan. Pertama-tama udara akan melewati IEC dimana temperature permukaan pipa yang sangat dingin, T_{ps} ($^{\circ}C$). Udara luar tersebut yang diketahui masih mengandung uap air (moisture) kemudian bila bersentuhan dengan permukaan pipa dengan temperature yang lebih rendah dari temperature bola basah udara luar, maka akan terjadi kondensasi, dimana akan terjadi penurunan kandungan uap air. Udara dingin dan kering yang keluar dari IEC akan di lewatkan pada DEC, dimana akan terjadi proses penguapan air pada permukaan material sumbu kompor, sehingga udara mengalami pendinginan humidifikasi Gambar 1.



Gambar 4. Cara Kerja Alat Pengujian

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Data Temperature

Tabel 1. Peforma Sistem Pendinginan Dengan Kecepatan Aliran Udara 4,8 m/s

Time (Menit)	T1		T2		T3	
	Tdb 1	Twb 1	Tdb 2	Twb 2	Tdb 3	Twb 3
15	29°C	27°C	20,1°C	16,4°C	22,9°C	21,1°C
30 Menit	29°C	27°C	19,9°C	24,7°C	24,5°C	23°C
45 Menit	29°C	27°C	26,8°C	22,2°C	25,5°C	24,2°C
60 Menit	29°C	27°C	27,5°C	23,1°C	26,3°C	24,9°C
Rata-rata	29°C	27°C	23,5°C	21,6°C	24,8°C	23,3°C

Pada Tabel 1. menunjukkan kenaikan temperatur bola kering (ΔT_{dB}) udara. Temperatur bola kering (ΔT_{dB}) udara masuk sistem dengan rata-rata 23,5°C mengalami kenaikan temperatur 1,3°C dengan temperatur bola kering (ΔT_{dB}) udara keluar sistem dengan rata-rata 24,8 °C.

Tabel 2. Peforma Sistem Pendinginan Dengan Kecepatan Aliran Udara 9,5 m/s

Time	T1		T2		T3	
	Tdb 1	Twb 1	Tdb 2	Twb 2	Tdb 3	Twb 3
15 Menit	29°C	28°C	24,2°C	21,1°C	25,6°C	24,7°C
30 Menit	29°C	28°C	25,8°C	22,3°C	27°C	25,6°C
45 Menit	29°C	28°C	27,1°C	23,3°C	27,6°C	26,2°C
60 Menit	29°C	28°C	27,6°C	23,9°C	27,9°C	26,4°C
Rata-rata	29 °C	28 °C	26,1°C	22,6°C	27 °C	25,7°C

Pada Tabel 2. Menunjukkan kenaikan temperatur bola kering (ΔT_{dB}) udara. Temperatur bola kering (ΔT_{dB}) udara masuk sistem dengan rata-rata 26,1°C mengalami kenaikan temperatur sebesar 0,9°C dengan temperatur bola kering (ΔT_{dB}) udara keluar sistem dengan rata-rata 27°C.

Tabel 3. Peforma Sistem Pendinginan Dengan Kecepatan Aliran Udara 11,3 m/s

Time	T1		T2		T3	
	Tdb 1	Twb 1	Tdb 2	Twb 2	Tdb 3	Twb 3
15 Menit	29°C	28°C	24,7°C	21,3°C	26°C	22,5°C
30 Menit	29°C	28°C	27°C	23,7°C	27,5°C	23,6°C
45 Menit	29°C	28°C	28,1°C	24,3°C	28,2°C	24,1°C
60 Menit	29°C	28°C	29,2°C	24,7°C	28,5°C	24,6°C
Rata-rata	29°C	28°C	27,2°C	23,5°C	27,5°C	23,7°C

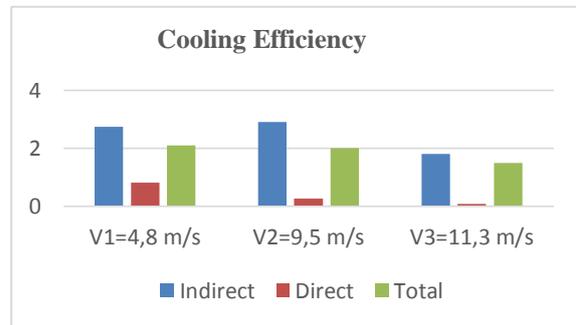
Pada Tabel 3. Menunjukkan kenaikan temperatur bola kering (ΔT_{dB}) udara. Temperatur bola kering (ΔT_{dB}) udara masuk sistem dengan rata-rata 27,2°C mengalami penurunan temperatur sebesar 0,3°C dengan temperatur bola kering (ΔT_{dB}) udara keluar sistem dengan rata-rata 27,5 °C.

4.2 Performansi Pendinginan Evaporative Cooling Cooling efficiency

Merupakan didefinisikan sebagai kenaikan temperatur bola kering yang dihasilkan dibagi dengan selisih temperatur bola kering dan temperatur

bola basah udara yang memasuki sistem. (Harris, 1991) [4].

$$\epsilon = \frac{T_{dB,1} - T_{dB,3}}{T_{dB,1} - T_{wb,1}} \quad (1)$$



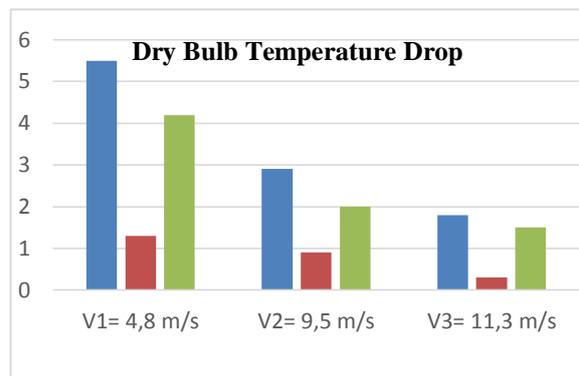
Gambar 5. Diagram Cooling Capacity

Gambar diagram diatas menunjukkan penurunan temperatur yang terjadi dari Indirect ke Direct.

Dry Bulb Temperatur Drop

Secara umum 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. (Journal Toni Dwi Putra, Nurida Finahari)

$$\Delta T_{dB} = T_{dB,1} - T_{dB,3} \quad (2)$$



Gambar 6. Diagram Dry Bulb Temperature Drop

Gambar diagram diatas menunjukkan hasil dari indirect selalu lebih besar dari direct dan total.

Cooling Capacity

Kapasitas pendinginan adalah mengukur kemampuan system pendinginan untuk menghilangkan panas. Kapasitas pendinginan ruangan (qs) dapat dihitung dengan persamaan. Untuk menentukan kapasitas pendinginan *sensible* dapat dihitung dengan persamaan berikut dalam satuan (kW). (Holman J. P, (1986),

$$q_s = Q \rho C_p (T_{dB,i} - T_{dB,o}) \quad (3)$$

Dimana :

$$\rho =$$

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

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

$$V_3 = 11,5$$

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

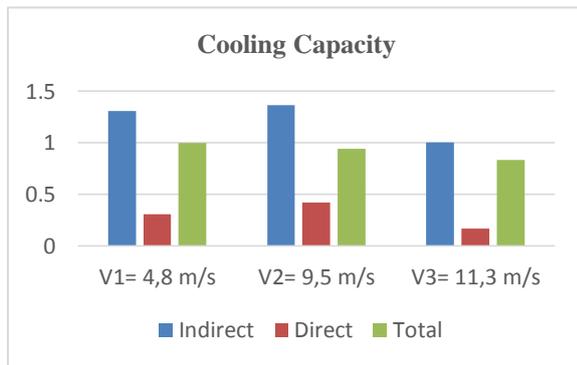
$$A = a \times b = 20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm} = 400 \text{ cm}^2 = 0,04 \text{ m}^2$$

$$Q = V_1 \cdot A = 4,8 \text{ m/s} \times 0,04 \text{ m}^2 = 0,192 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = V_2 \cdot A = 9,5 \text{ m/s} \times 0,04 \text{ m}^2 = 0,38 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = V_3 \cdot A = 11,3 \text{ m/s} \times 0,04 \text{ m}^2 = 0,45 \text{ m}^3/\text{s}$$

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

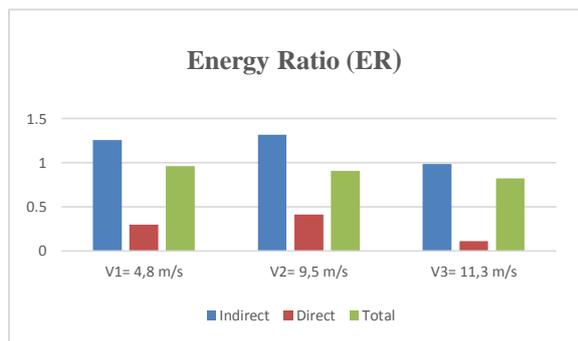


Gambar 7. Diagram Cooling Capacity

Gambar diagram diatas menunjukkan hasil dari indirect lebih tinggi di atas diagram total dan direct Energy Ratio (ER)

Energy ratio (ER) merupakan hasil bagi antara kapasitas pendinginan sensibel dengan jumlah konsumsi energi pendinginan [5].

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



Gambar 8. Diagram Energy Ratio (ER)

Gambar diagram diatas menunjukkan jumlah konsumsi energy dari indirect lebih tinggi dari direct dan total.

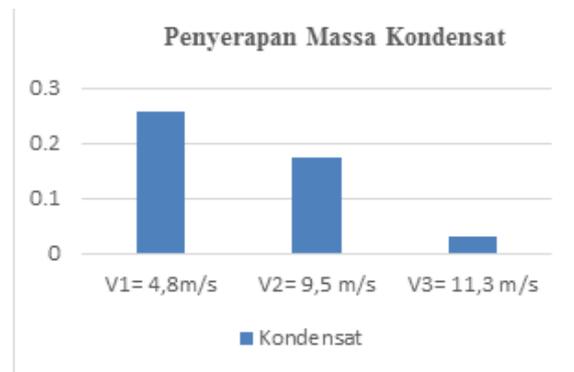
Condensation Rate

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

$$Er = \frac{(ma - ma_0) / 1000 \text{ Kg/m}^3 \times 10^3}{t} \quad (4)$$

Tabel 4. Penyerapan Massa Kondensat

Kecepatan Aliran Udara	Waktu (Menit)	Massa awal (kg)	Massa akhir (kg)
4,8 m/s	60	0,097	0,356
9,5 m/s	60	0,097	0,273
11,3 m/s	60	0,097	0,127



Gambar 9. Diagram Penyerapan Massa Kondensat

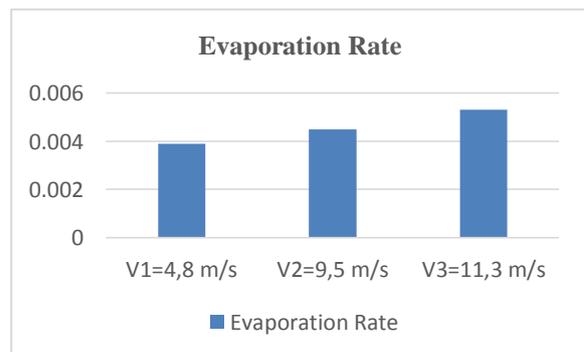
Gambar diagram diatas menunjukkan penurunan massa kondensat dari V1 ke V3.

Evaporation Rate

Penguapan atau evaporation merupakan proses perubahan molekul dari fase zat cair saat berubah menjadi fase gas. Besarnya laju penguapan (evaporation) yang terjadi dapat dihitung dengan perbedaan berat kapas sebelum pengujian (ma_0) dengan berat kapas sesudah pengujian (ma).

Tabel 5. Evaporation Rate

Kecepatan Aliran Udara	Waktu(menit)	Massa Awal (kg)	Massa Akhir (kg)
4,8 m/s	60	15,2	11,3
9,5 m/s	60	15,2	10,7
11,3 m/s	60	15,2	9,9



Gambar 10. Diagram Evaporation Rate

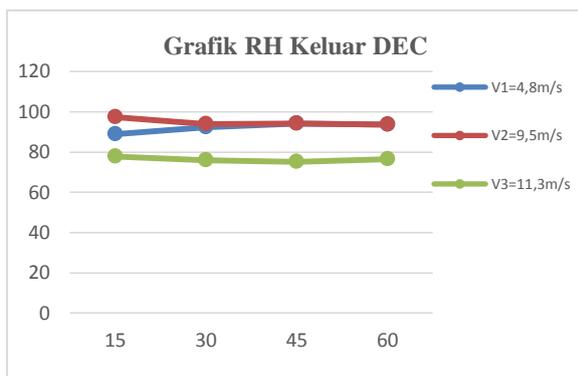
Gambar diagram berikut menunjukkan penurunan evaporative rate dari V1 ke V3 karena kecepatan aliran udara yang meningkat.

Kelembaban Relative (RH)

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

Tabel 6. Kelembaban Relative

Kecepatan Aliran Udara	Waktu	T1		T2		T3	
		Tdb 1	Twb 1	Tdb 2	Twb 2	Tdb 3	Twb 3
4,8 m/s	60 menit	29 °C	27 °C	23,5 °C	21,6 °C	24,8 °C	23,3 °C
9,5 m/s	60 menit	29 °C	28 °C	26,1 °C	22,6 °C	27 °C	25,7 °C
11,3 m/s	60 menit	29 °C	28 °C	27,2 °C	23,5 °C	27,5 °C	23,7 °C



Gambar 11. Grafik Kelembaban Relative

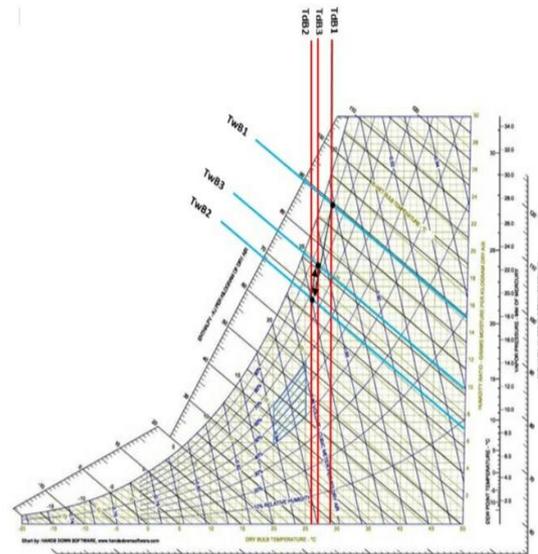
Gambar grafik diatas menunjukan hasil dari lama pengujian dari 15 menit sampai 60 menit.

4.3 Grafik Psychrometri

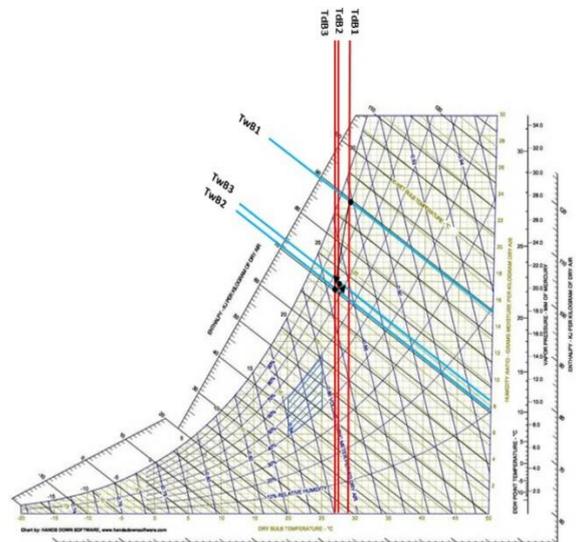
Merupakan suatu grafik untuk mengetahui kajian mengenai sifat-sifat campuran udara dan uap air, dengan mengetahui T_{in} ($T2$) dan T_{out} ($T3$) untuk memudahkan mencari titik pada diagram psychrometri chart diperlukan tabel sebagai berikut:

Tabel 7. Temperature rata-rata

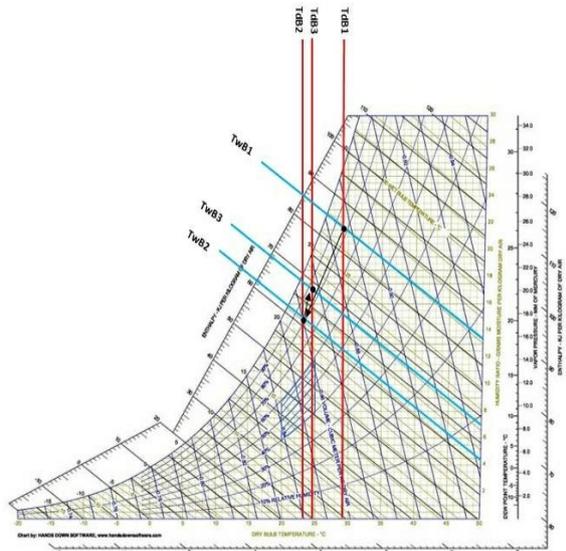
Kecepatan Aliran Udara	Waktu	T1		T2		T3	
		Tdb 1	Twb 1	Tdb 2	Twb 2	Tdb 3	Twb 3
4,8 m/s	60 menit	29 °C	27 °C	23,5 °C	21,6 °C	24,8 °C	23,3 °C
9,5 m/s	60 menit	29 °C	28 °C	26,1 °C	22,6 °C	27 °C	25,7 °C
11,3 m/s	60 menit	29 °C	28 °C	27,2 °C	23,5 °C	27,5 °C	23,7 °C



Gambar 12. Grafik Psychrometri 4,8 m/s



Gambar 13. Grafik Psychrometri 9,5 m/s



Gambar 14. Grafik Psychrometri 11,3 m/s

Grafik Psychrometri yang di dapat pada Kecepatan Aliran udara 4,8 m/s, udara mengalami proses pendinginan dan dehumidifikasi, kemudian mengalami proses pemanasan dan dehumidifikasi.

Grafik Psychrometri yang di dapat pada Kecepatan Aliran udara 9.5 m/s, udara mengalami proses pendinginan dan dehumidifikasi, kemudian mengalami proses pemanasan dan dehumidifikasi.

Grafik Psychrometri yang di dapat pada Kecepatan Aliran udara 11,3 m/s, udara mengalami proses pendinginan dan dehumidifikasi, kemudian mengalami proses pemanasan dan dehumidifikasi.

5. Kesimpulan

Cooling capacity performansi pada system kombinasi Indirect dan Direct evaporative cooling terjadi pada kecepatan aliran udara $V_1= 4,8$ m/s dimana besar Cooling Efficiency= 2,1 , Dry Bulb temperature Drop= 4,2°C, Cooling Capacity= 0,996 kW, EER= 0,962 , Condensation Rate= 0,259 m³/s ,dan Evaporative Rate= 0,0039 m³/jam. Dan nilai Rata-rata kelembaban udara (ΔRH) pada kecepatan aliran udara $V_1= 92,3\%$, $V_2=94,7\%$, dan $V_3=76,6\%$.

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] Cahyo Hardanto, & Bambang Yuniarto, *Uji Prestasi Pendinginan Evaporasi Kontak Tidak Langsung (Indirect Evaporative Cooling) Dengan Variasi Temperatur Media Pendingin Air*.
- [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, Vol.5,pp. 1-6.
- [4] Harris, Norman C., 1991, *Modern Air Conditioning Practice*, McGraw-Hill, inc.
- [5] Effatnejad R, Salehian A.B., 2009, *Standard of Energy Consumption And Energy Labeling In Evaporative Air Cooler in Iran*, Jurnal IJTPE, Vol. 1, No. 1.



I Made Purnamayanto 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.

Karakterisasi Bioplastik Dengan Variasi Fraksi Berat Pati Tapioka Dan Pati Maizena Terhadap Kekuatan Tarik Dan Bending

Ida Bagus Satria Pramana, I Gusti Ngurah Nitya Santhiarsa, Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Penelitian ini dilakukan untuk menguji kekuatan tarik dan bending dari bioplastik yang terkomposisi campuran dari pati tepung tapioka dan pati tepung maizena. Selain itu bahan lainnya seperti kitosan, gliserol, dan asam asetat digunakan sebagai bahan penguat dan perekat dari bioplastik. Spesimen pada penelitian ini menggunakan 3 variasi campuran yaitu 30% : 70%, 40% : 60%, dan 50% : 50% untuk setiap jenis pengujian. Alat uji mekanik tensilon dengan tipe RTG 1250 dengan menggunakan ASTM D3090 yang digunakan pada uji tarik. Sedangkan pada pengujian bending menggunakan ASTM D790-03. Hasil pengujian tarik yang didapatkan nilai tegangan dan modulus elastisitas paling tinggi terdapat pada komposisi bahan 30% : 70% yaitu nilai tegangan 0.157 MPa dan nilai modulus elastisitas 2.316 MPa. Namun, memiliki nilai regangan 0.067 MPa. Hal ini membuktikan bahwa semakin banyak tepung tapioka dalam campuran maka semakin naik kuat tagangan dan modulus elastisitas dari hidrogel yang terbentuk. Hasil pengujian bending variasi campuran 30% : 70% memiliki nilai tegangan dan modulus elastisitas yang paling tinggi yaitu sebesar 11,049 MPa dan 501,97 MPa. Namun, variasi campuran 30% : 70% memiliki nilai regangan yang paling rendah yaitu sebesar 0,114.

Kata kunci: Bioplastik, Pati Tepung Tapioka, Pati Tepung Maizena, Kitosan, Gliserol, Asam Asetat

Abstract

This research was conducted to test the tensile and bending strength of bioplastic which is composed of a mixture of tapioca starch and cornstarch. In addition, other materials such as chitosan, glycerol, and acetic acid are used as reinforcing agents and adhesives for bioplastics. The specimens in this study used 3 mixed variations, namely 30%: 70%, 40%: 60%, and 50%: 50% for each type of test. Tensilon mechanical tester with type RTG 1250 using ASTM D3090 which is used in the tensile test. Meanwhile, the bending test uses ASTM D790-03. Tensile test results obtained the highest value of stress and modulus of elasticity found in the material composition of 30%: 70%, namely the stress value of 0.157 MPa and the modulus of elasticity value of 2.316 MPa. However, it has a strain value of 0.067 MPa. This proves that the more tapioca flour in the mixture, the higher the yield strength and elastic modulus of the hydrogel formed. The results of the bending test for mixed variations of 30%: 70% have the highest stress and modulus of elasticity, which are 11.049 MPa and 501.97 MPa. However, the 30%: 70% mixture variation has the lowest strain value, which is 0.114.

Key words: Bioplastics, Tapioca Starch, Maizene Starch, Chitosan, Glycerol, Acetic Acid

1. Pendahuluan

Pencemaran lingkungan yang disebabkan sampah plastik bukan lagi menjadi masalah baru terutama bagi negara berkembang seperti Indonesia. Namun, tanpa seiring berjalannya waktu penggunaan plastic dalam kehidupan sehari-hari sudah tidak terbendung lagi, sehingga merusak lingkungan hidup. Seharusnya penggunaan plastik juga harus diseimbangi dengan dampak negative yang ditimbulkannya. Salah satu solusi untuk mengolah sampah plastik yaitu dengan membuat plastik biodegradable (bioplastik).

Komposisi tepung tapioka dan maizena yang dikaji yaitu 10:40, 20:30, 25:25, 30:20, 40:10. Hasil penelitian menunjukkan bioplastik yang dihasilkan dari kelima komposisi memiliki tekstur kenyal, padat, berwarna putih kekuningan dan halus, tetapi ada sedikit gelembung udara jika ditinjau dari segi permukaan fisik dan permukaan mikroskopis dengan perbesaran 10 kali [1].

Maka permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini yaitu bagaimana pengaruh variasi komposisi dari campuran pati tapioka dan pati maezena dalam pembuatan bioplastik yang diperkuat dengan kitosan terhadap kekuatan tarik dan kekuatan bending dari bioplastik.

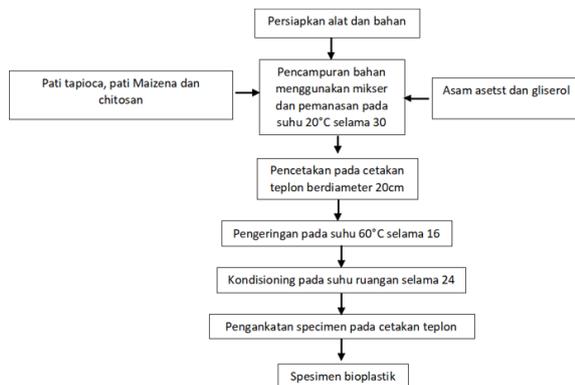
Batasan penelitian yang diatur pada penelitian ini yaitu:

1. Tepung maezena terbuat dari jagung (*Zea mays L.*).
2. Tepung tapioka terbuat dari ubi kayu (*Manihot esculenta Crantz*).
3. Kitosan diambil dari limbah kulit kepiting (*portunus puber*).
4. Fraksi berat pati dalam bioplastik tetap 80%.

2. Dasar Teori

Dalam pembuatan bioplastik langkah utama yaitu menyiapkan alat-alat dan bahan yang

dibutuhkan. Kemudian selanjutnya yaitu pencampuran bahan dengan komposisi yang sudah ditentukan. Setelah tercampur tuangkan kedalam cetakan teplon kemudian keringkan selama 16 jam dengan menggunakan oven dengan suhu 60⁰ C. Selanjutnya proses kondisioning selama 24 jam dalam suhu ruangan. Selanjutnya angkat spesimen dari cetakan dan jadilah spesimen bioplastik, apa bila terjadi gelombang pada spesimen berarti spesimen di anggap gagal dan harus di ulang dari awal.



Gambar 1. Proses pembuatan bioplastik berbahan dasar pati

Salah satu faktor yang sangat penting dalam mencetak bioplastik adalah perbandingan antara pati dan kitosan. Fraksi berat dapat dihitung dengan persamaan:

$$Wf = \frac{wf}{wc} \quad (1)$$

Wf = fraksi berat pati (%)
 wf = berat pati (gram)
 wc = berat bioplastik (gram)
 = berat chitosan (gram) + berat pati (gram)

Kekuatan tarik dievaluasi dengan asumsi bahwa ikatan serat matriks homogen, tidak ada pergeseran antara serat dan matrik, dan deformasi serat dan matriks sama. Pada saat spesimen menerima beban tarik, maka spesimen mengalami tegangan, dan akan bertambah panjang. Tegangan yang terjadi dihitung dengan persamaan:

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (2)$$

σ = tegangan tarik (MPa)
 P = beban (N)
 A₀ = luas penampang spesimen mula-mula (mm²)

Pada saat bersamaan spesimen juga mengalami regangan tarik yang dihitung dengan persamaan:

$$\epsilon = \frac{(L-L_0)}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (3)$$

ϵ = regangan (%)
 L₀ = panjang spesimen mula-mula (mm)
 L = panjang spesimen saat menerima beban (mm)
 E = modulus elastisitas (MPa)
 $\Delta\sigma$ = selisih tegangan tarik di daerah elastis (MPa)
 $\Delta\epsilon$ = selisih regangan di daerah elastis

Uji lentur (flexural test) bertujuan untuk mendapatkan data lentur, dan modulus elastisitas lentur bahan. Uji lentur akan dilaksanakan dengan metode pembebanan tiga titik (a three points loading system), mengikuti standart ASTM D790-03. Batang sepanjang L ditumpu pada dua titik, dan dibebani di tengah-tengah sebesar P, tegangan yang terjadi dihitung berdasarkan persamaan:

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

σ = tegangan pada tengah-tengah batang (MPa)
 P = beban (N)
 L = jarak tumpuan(mm)
 b = lebar batang (mm)
 d = ketebalan (mm)

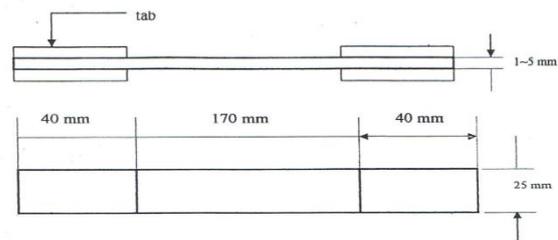
Regangan tarik dapat dihitung dengan persamaan:

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

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

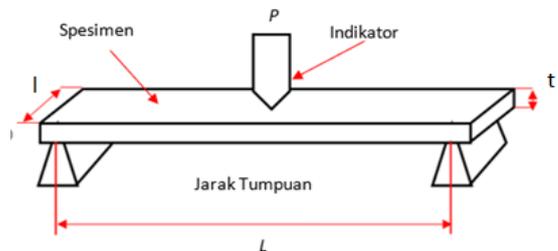
3. Metode Penelitian

Berikut merupakan ukuran dari spesimen pengujian tarik.



Gambar 2. Spesimen uji tarik (ASTM D3090)

Kekuatan tarik material bioplastik memiliki nilai tekan yang kurang baik dibanding kekuatan tekannya. Tujuan dilakukannya uji tarik ini adalah untuk mengetahui kekuatan atau kelenturan spesimen bioplastic terhadap beban yang diberikan dengan secara perlahan sampai spesimen patah.

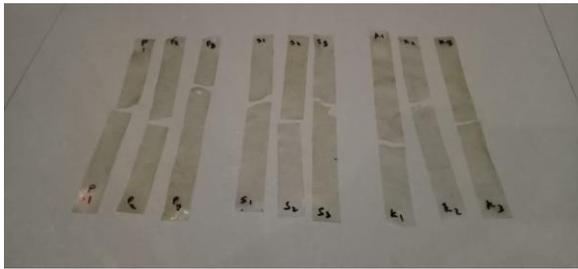


Gambar 3. Spesimen uji bending (ASTM D790 – 03)

Pada pengujian bending spesimen akan diberikan pembebanan sampai spesimen melengkung atau mengalami perubahan bentuk sampai sesuai dengan bentuk yang diinginkan kemudian diamati permukaannya.

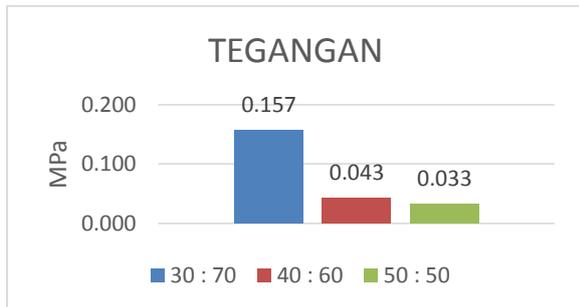
4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Hasil Pengujian Tarik Bioplastik

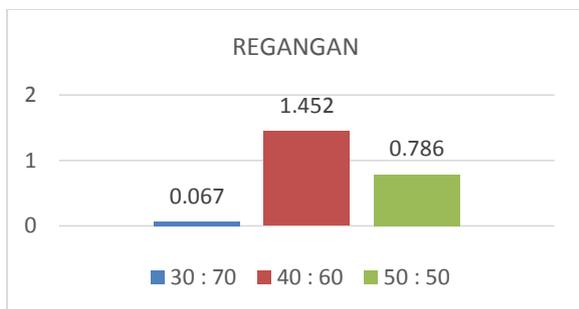


Gambar 4. Spesimen bioplastik uji tarik

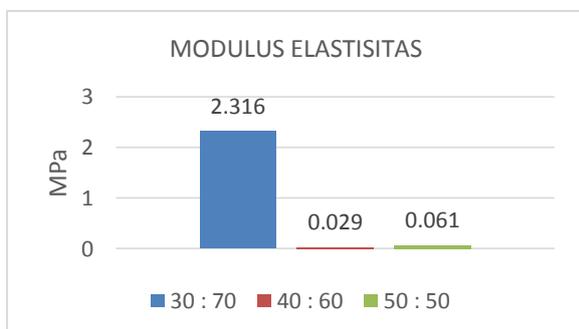
Data spesimen uji bending bioplastik dari campuran tepung tapioca dan maezena dengan variasi campuran 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50 sebagai berikut :



Gambar 5. Grafik tegangan pada setiap campuran



Gambar 6. Grafik regangan pada setiap campuran



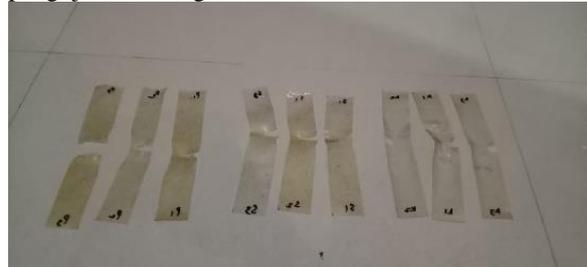
Gambar 7. Grafik modulus elastisitas pada setiap campuran

Dapat dilihat dari nilai tegangan dan ME paling tinggi terdapat pada komposisi bahan 30 : 70 yaitu nilai tegangan 0.157 MPa dan nilai modulus elastisitas 2.316 MPa. Namun, memiliki nilai regangan 0.067 MPa. Hal ini membuktikan bahwa

semakin banyak tepung tapioka dalam campuran maka semakin naik kuat tagangan dan modulus elastisitas dari hidrogel yang terbentuk. Struktur molekul amorf memiliki keteraturan yang lebih rendah dibandingkan molekul kristalin yang menyebabkan polimer bioplastik yang dihasilkan menjadi lebih elastis [2].

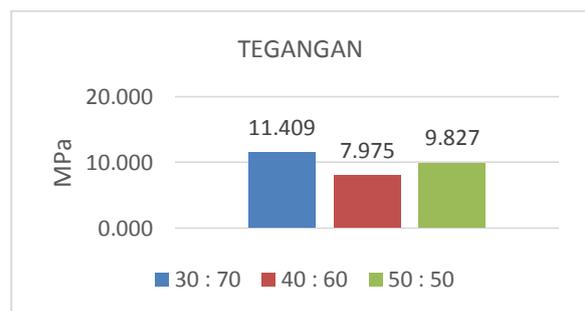
4.2. Data Hasil Pengujian Bending Bioplastik

Berikut merupakan spesimen bioplastik untuk pengujian bending.



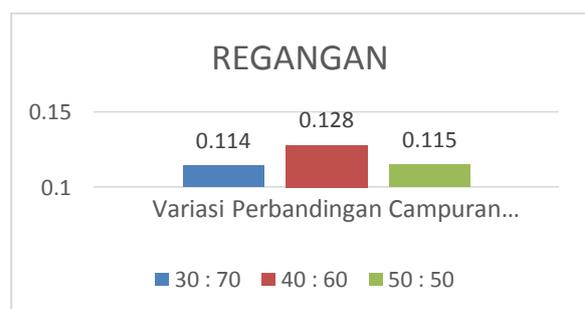
Gambar 8. Spesimen bioplastik uji bending

Perhitungan tegangan, regangan, dan modulus elastisitas pada data spesimen uji bending bioplastik dari campuran tepung tapioca dan maezena dengan variasi campuran 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50 sebagai berikut :



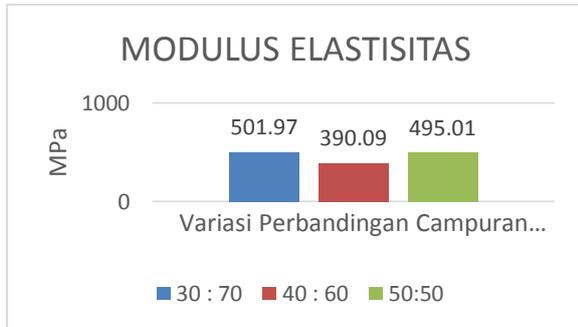
Gambar 9. Grafik tegangan rata-rata pada setiap variasi campuran

Gambar 9. merupakan grafik tegangan rata-rata pada setiap variasi campuran. Dimana hasil yang diperoleh pada spesimen bioplastik dengan variasi campuran 30 : 70 memiliki nilai tegangan yang paling tinggi yaitu sebesar 11,049MPa. Sedangkan spesimen bioplastik dengan variasi campuran 40 : 60 memiliki nilai tegangan yang paling rendah yaitu sebesar 7,975 MPa. Nilai tegangan pada variasi campuran 50 : 50 sebesar 9,827 MPa.



Gambar 10. Grafik regangan rata-rata pada setiap variasi campuran

Gambar 10. merupakan grafik regangan rata - rata pada setiap variasi campuran. Dimana hasil yang diperoleh pada spesimen bioplastik dengan variasi pada campuran 30 : 70 mempunyai nilai regangan kurang baik atau rendah yaitu sebesar 0,114. Sedangkan spesimen bioplastik dengan variasi campuran 40 : 60 memiliki nilai regangan yang paling baik yaitu sebesar 0,128. Nilai regangan pada variasi campuran 50 : 50 sebesar 0,115.



Gambar 11. Grafik modulus elastisitas rata – rata pada setiap variasi campuran

Dimana hasil yang diperoleh pada spesimen bioplastik dengan variasi campuran 30 : 70 memiliki nilai lentur atau elastisitas yang paling baik yaitu sebesar 501,97 MPa. Sedangkan spesimen bioplastik dengan variasi campuran 40 : 60 memiliki nilai modulus elastisitas yang paling rendah yaitu sebesar 390,09 MPa. Nilai modulus elastisitas pada variasi campuran 50 : 50 sebesar 495,01 MPa.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan tentang varian komposisi berat pati dari campuran tepung tapioca dan maezena (30% : 70%, 40% : 60%, 50% : 50%) terhadap pengujian bending dan pengujian tarik dapat diambil kesimpulan :

1. Hasil dari uji kekuatan bending yaitu bioploastik pada variasi campuran 30% : 70% mempunyai nilai kekuatan uji bending paling baik. Dimana didapatkan hasil nilai untuk tegangan bending yaitu 11,409 MPa, nilai regangan yang didapatkan yaitu 0,114, dan nilai modulus elastisitas yang didapatkan yaitu 501,97 MPa.
2. Pada pengujian tarik menunjukkan hasil bioploastik pada variasi campuran 30% : 70% memiliki kekuatan tarik paling baik. Dimana nilai tegangan yang didapatkan yaitu sebesar 0.158 MPa, nilai regangan yang didapatkan yaitu sebesar 0.068, dan nilai ME yang didapatkan yaitu sebesar 2.316 MPa. Hal ini membuktikan bahwa semakin banyak tepung tapioka dalam campuran maka semakin naik kuat tagangan dan modulus elastisitas dari hidrogel yang terbentuk.

Daftar Pustaka

- [1] Haryanto Haryanto, Fena Retyo Titani, 2017, *Bioplastik Dari Tepung Tapioka Dan Tepung*

Maizena, Vol 18, No 1, Universitas Muhammadiyah Purwokerto.

- [2] Sperling LH., 2006, *Introduction to Physical Polymer Chemistry*, Ed ke-4. New Jersey (US): J Wileys.



Ida Bagus Satria Pramana menyelesaikan studi program sarjana di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2013 sampai 2020. Ia menyelesaikan studi program sarjana dengan topik penelitian Karakterisasi Bioplastik Dengan Variasi Fraksi Berat Pati Tapioka Dan Pati Maizena Terhadap Kekuatan Tarik Dan Bending.

Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan rekayasa manufaktur.

Pengaruh Variasi Fraksi Volume Serat Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Hybrid Polypropylene/Serat Lidah Mertua Dan Sabut Kelapa

Yoga Setiawan, Ngakan Putu Gede Suardana, dan I Putu Lokantara

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit, Jimbaran Bali

Abstrak

Plastik merupakan permasalahan sampah utama yang masih dialami oleh seluruh daerah di Indonesia maka perlukan pengolahan yang baik agar dapat mengurangi permasalahan sampah yang ada dan dapat menjadi alternatif sebagai perekat material komposit dengan kekuatan tarik yang maksimum. Pada penelitian ini serat lidah mertua dan sabut kelapa digunakan sebagai penguat untuk matriks jenis polypropylene dalam proses pembuatan komposit hybrid dengan variasi fraksi volume serat 25%, 30% dan 35% dengan perlakuan serat menggunakan 5% NaOH pada suhu 50⁰ C. Spesimen komposit dibuat dengan metode pres panas suhu 160⁰ C selama 120 menit. Material komposit di uji tarik dengan dimensi spesimen uji mengacu pada ASTM D-638. Hasil dari pengujian didapatkan semakin bertambahnya variasi fraksi volume maka kekuatan tarik akan meningkat dan perlakuan NaOH sebesar 5% selama 120 menit dapat mengurangi lignin, hemiselulosa dan zat pengotor dan dapat meningkatkan kekuatan tarik karena ikatan antara antarmuka serat dengan matriks yang baik. Nilai kekuatan tarik terendah terdapat pada serat dengan fraksi volume 25% yaitu 20,351 MPa dan nilai tegangan tarik tertinggi terdapat pada serat dengan fraksi volume 35% yang naik 44,77% sebesar 29,463 MPa.

Kata Kunci: Komposit, Fraksi Volume, Polypropylene, Serat Alam

Abstract

Plastics are the main waste problem that is still experienced by all regions in Indonesia, so good processing is needed in order to reduce the existing waste problem and can be an alternative as an adhesive for composite materials with maximum tensile strength. In this study, the tongue-in-law and coconut coir fibers were used as reinforcement for the polypropylene type matrix in the process of making hybrid composites with variations in the fiber volume fraction of 25%, 30% and 35% with fiber treatment using 5% NaOH at 50⁰ C. Composite specimens were prepared by heat pressing method at temperature of 160⁰ C for 120 minutes. Composite material in tensile test with the dimensions of the test specimen refers to ASTM D-638. The results of the test showed that the increasing variation in volume fraction, the tensile strength will increase and 5% NaOH treatment for 120 minutes can reduce lignin, hemicellulose and impurities and can increase tensile strength due to the bond between the fiber interface and the good matrix. The lowest tensile strength value is found in the fiber with a volume fraction of 25%, namely 20.351 MPa and the highest tensile stress value is found in the fiber with a volume fraction of 35% which increases 44.77% of 29.463 MPa

Keywords: Composite, Volume Fraction, Polypropylene, Natural Fiber

1. Pendahuluan

Di jaman modern masyarakat menginginkan segala sesuatu serba mudah dan instan, salah satunya dengan menggunakan plastik untuk kemasan air mineral dan kemasan air mineral ini dapat dengan mudah dan cepat menghasilkan sampah yang sulit terurai oleh alam. Masyarakat sudah sangat bergantung dengan plastik untuk persoalan membungkus makanan atau minuman. Prilaku bergantungnya kegiatan sehari-hari terhadap penggunaan plastik harus diimbangi dengan pengolahan sampah plastik yang perlu ditingkatkan sebagai upaya permasalahan sampah plastik yang semakin hari semakin mengkhawatirkan terlebih seiring dengan semakin banyak pertumbuhan penduduk, modernisasi, dan perkembangan industri.

Sampah non organik merupakan jenis sampah yang memiliki potensi besar untuk mencemari lingkungan salah satunya sampah plastik, karena sifatnya yang sulit terurai dengan alam. Penggunaan plastik yang tinggi harus diimbangi dengan penanggulangan sampah plastik yang baik sehingga timbulan sampah plastik tidak menjadi besar. Salah satu upaya penanggulangan sampah plastik adalah dengan memanfaatkannya sebagai matriks/perekat dalam material komposit

Komposit terdiri dari bahan penguat dan pengikat dimana pada umumnya bahan pengikat/matriks memiliki jumlah fraksi yang lebih besar maka sejalan dengan upaya penanggulangan timbulan sampah plastik yang semakin tinggi dengan menggunakan bahan penguat berbahan alam seperti serat lidah mertua dan serat sabut kelapa.

Komposit dengan bahan penguat alam seperti serat lidah mertua dan serat sabut kelapa dapat menjadi alternatif karena sifatnya yang aman tidak menyebabkan iritasi kulit, murah dan mudah didapat atau di budidayakan.

Sampah plastik yang dapat dimanfaatkan sebagai material komposit dapat membantu dalam mengurangi permasalahan sampah saat ini dengan penguat serat lidah mertua dan sabut kelapa memberikan nilai tambah material komposit tersebut untuk dijadikan komposit hybrid. Komposit hybrid adalah gabungan serat yang disusun secara lurus dan acak atau gabungan dua jenis serat yang berbeda.

Beberapa penelitian mengenai daur ulang sampah plastik menjadi komposit yang diperkuat serat lidah mertua atau dengan serat sabut kelapa sudah dilakukan salah satunya [1]. Dalam penelitiannya komposit *polypropylene* daur ulang berpenguat serat *sansevieria trifasciata*. Penelitian lainnya tentang komposit *polypropylene* berpenguat serat sabut kelapa [2]. Setelah dilakukan penelitian tersebut perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk menggabungkan dua jenis penguat tersebut untuk menghasilkan komposit hybrid *polypropylene* berpenguat serat lidah mertua dan sabut kelapa dengan variasi fraksi volume serat dan perlakuan NaOH untuk memperoleh komposit dengan kekuatan tarik yang maksimum,

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi fraksi volume serat terhadap kekuatan tarik komposit hybrid *polypropylene* berpenguat serat lidah mertua dan sabut kelapa

2. Dasar Teori

2.1. Komposit

Komposit merupakan suatu material yang terdiri dari dua atau lebih bahan yang memiliki karakter yang berbeda yang digabungkan dalam satu unit structural makroskopis. Komposit memiliki sejumlah sifat yang berbeda dengan masing-masing komponennya [3].

Material komposit terdiri dari dua unsur, yaitu penguat (reinforced) dan perekat (matrik). Filler/reinforced berfungsi sebagai penguat atau penambah kekuatan, kekakuan dan keuletan bahan, sedangkan matrik berfungsi sebagai perekat filler, penerus gaya dan temperature ke filler.

Matriks memiliki jumlah fraksi volume yang lebih besar dibanding filler maka tepat jika menggunakan sampah plastik untuk digunakan menjadi matriks sebagai upaya penanggulangan timbulan sampah plastik dan menjadi alternatif untuk mendapat material

komposit yang lebih murah. Untuk matriks yang digunakan adalah sampah plastik bekas air mineral berukuran 220 ml.



Gambar 1. Plastik air mineral bekas berukuran 220 ml

Pembuatan komposit berpenguat serat membutuhkan ikatan permukaan yang kuat antara serat dan matrik sehingga matriks dapat mentransfer tegangan dengan maksimal keseluruhan serat. Salah satu cara untuk menguatkan ikatan permukaan adalah dengan membersihkan serat dari zat pengotor, hemiselulosa dan lignin yang ada pada serat dengan perlakuan alkali NaOH sehingga serat menjadi lebih kasar dan berongga dan dapat meningkatkan ikatan antara matriks dan serat penguat seperti yang dilakukan oleh Yan, et al. pada penelitian serat sabut kelapa dengan perlakuan NaOH 5% dapat meningkatkan kekuatan tarik 17,8% dibanding tanpa perlakuan [4].



Gambar 2. Natrium hidroksida (NaOH)

2.2. Komposit Hybrid

Komposit hybrid merupakan gabungan serat yang disusun secara lurus dan acak atau gabungan dua jenis serat yang berbeda. Komposit hybrid digunakan untuk mengganti kekurangan sifat dari kedua tipe serat dan dapat menggabungkan kelebihan keduanya dan memberikan kombinasi sifat seperti modulus tarik, kekuatan tekan dan kekuatan impak yang tidak dapat diwujudkan dalam bahan komposit [5]. Pada penelitian ini serat lidah mertua disusun secara searah dan sabut kelapa disusun secara acak digabungkan dengan perbandingan serat 50:50

2.3. Serat *Sansevieria trifasciata* (Lidah Mertua)

Sansevieria trifasciata merupakan nama latin dari tanaman lidah mertua yang merupakan spesies dalam famili *Asparagaceae*. Tanaman lidah mertua banyak ditemukan di Indonesia dan karena jumlahnya yang melimpah maka serat lidah mertua dapat digunakan untuk bahan penguat pada komposit.

Tanaman lidah mertua merupakan tanaman yang dapat tumbuh dengan sedikit cahaya dan sedikit air membuat tanaman ini cukup populer sebagai penghias bagian dalam rumah. Permukaan serat yang kasar memberikan permukaan yang lebih luas untuk matriks komposit sehingga meningkatkan serat terhadap adhesi matriks dan kinerja keseluruhan sebagai penguat serat komposit [6].



Gambar 3. Lidah Mertua

2.4 Serat Sabut Kelapa

Tanaman kelapa merupakan tanaman yang banyak dijumpai di seluruh pelosok nusantara, sehingga di Indonesia hasil alam berupa kelapa sangat melimpah. Buah kelapa menghasilkan limbah sangat potensial apabila digunakan sebagai penguat bahan baru pada komposit.

Serat sabut kelapa adalah bagian yang berharga dari sabut. Setiap butir kelapa mengandung serat sekitar 75% dari sabut dan ketebalan sabut kelapa berkisar 5-6 cm yang terdiri atas lapisan terluar (*exocarpium*) dan lapisan dalam (*endocarpium*). Komposit sabut kelapa telah banyak digunakan dalam penguat material komposit dengan menggunakan matriks seperti *polypropylene*, karet alam dan resin *polyester*.

Serat sabut kelapa mulai dilirik penggunaannya dimana jumlahnya yang melimpah di negara beriklim tropis seperti di Indonesia dan sifatnya yang mudah didapatkan, murah, melimpah dan kurang maksimal dalam penggunaannya sehingga diharapkan dapat menjadi alternatif sebagai bahan penguat dalam pembuatan komposit dan menjadi sumber mata pencarian baru bagi masyarakat Indonesia.



Gambar 4. Serat Sabut Kelapa

3. Metode penelitian

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

3.1. Alat

1. Ember.
2. Roll Pin untuk pememaran serat lidah mertua.
3. Sikat.
4. Tissue dan lap kain
5. Oven
6. Kompor dan panci
7. Termogun dan pemanas air
8. Toples atau wadah tertutup
9. Gunting
10. Timbangan.
11. Alat pencatat waktu.
12. Mesin pres panas.
13. Sarung tangan safety
14. Kipas untuk proses pendinginan.
15. Kapi.
16. Gerinda potong duduk.
17. Kaca mata pelindung
18. Amplas.
19. Pulpen dan stiker tempel
20. Kotak penyimpanan
21. Mistar insut
22. Mesin uji tarik (tension RTG-1250).

3.2 Bahan

1. Tanaman lidah mertua dengan panjang minimal 50 cm
2. Serat sabut kelapa
3. Kemasan air mineral bekas
4. NaOH untuk perlakuan alkali serat.
5. *Glasswool* untuk menyumbat bagian sisi cetakan yang bocor.
6. Aluminium foil

3.2.1 Pemilihan Bahan

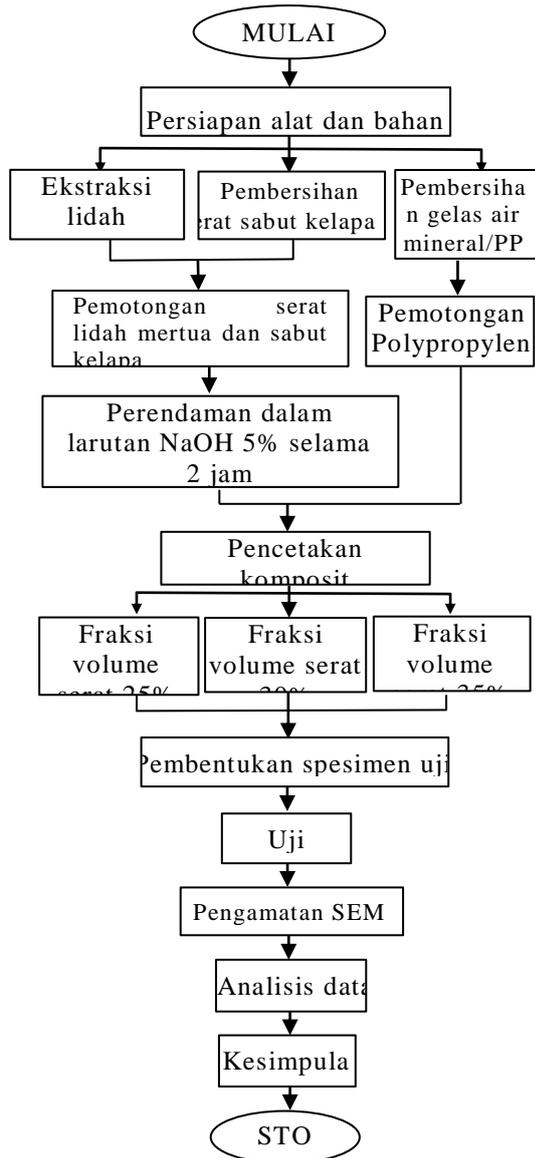
Untuk mendapatkan hasil yang diinginkan dari luasnya permasalahan yang ada, maka perlu dilakukan pembatasan antara lain:

1. Serat lidah mertua yang digunakan merupakan serat yang didapat di

daerah Denpasar yang umurnya diasumsikan sama.

2. Sabut kelapa yang digunakan didapatkan dari supplier di daerah Denpasar yang umurnya diasumsikan sama.
3. Bahan matriks yang digunakan merupakan sampah plastik *polypropylene* yang didapat dari kemasan air mineral bekas dari merek terkenal berukuran 220 ml.

3.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar 5. Diagram alir penelitian

3.4 Metode Uji

Pengujian tarik adalah suatu metode yang dipakai untuk menguji kekuatan suatu material dengan cara menarik specimen/memberikan gaya statis yang berlawanan arah untuk mengetahui sifat mekanik dari material. Informasi penting

mengenai sifat-sifat elastik material dapat diperoleh dari beberapa hasil uji yang lengkap, untuk memberikan suatu kerangka kerja dalam berbagai macam respon dari beban tarik pada material



Gambar 6. Alat uji mekanik tensilon RTG-1250 Universitas Udayana

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Pengukuran Massa Jenis Serat dan Polypropylene

Langkah pertama pengukuran massa jenis serat dan matriks *polypropylene* dengan piknometer. Pengukuran massa jenis diperlukan untuk menentukan jumlah serat dan matriks yang akan dicetak pada cetakan dengan menggunakan variasi fraksi volume. Pengukuran massa jenis dari serat dan *polypropylene* dilakukan 6 kali percobaan kemudian dicari rata-rata agar mendapat hasil yang lebih akurat kemudian dihitung menggunakan rumus sebagai berikut. Untuk hasil perhitungan ditunjukkan pada tabel 4.1.

$$\rho = \frac{(m_2 - m_1)}{(m_3 - m_1) - (m_4 - m_2)} \times \rho_f \quad (1)$$

Keterangan:

- m_1 = Massa piknometer
- m_2 = Massa piknometer + Sampel
- m_3 = Massa piknometer + Aquades
- m_4 = Massa piknometer + Aquades + Sampel
- ρ_f = Massa jenis aquades



Gambar 7. Pengukuran massa jenis serat

Tabel 1. hasil pengukuran massa jenis

Percobaan	Massa Jenis Sabut Kelapa	Massa Jenis Polypropylene	Massa Jenis Lidah Mertua
1	1,751	0,883	1,451
2	1,736	0,891	1,450
3	1,746	0,831	1,476
4	1,776	0,880	1,458
5	1,731	0,887	1,461
6	1,737	0,898	1,473
Rata-rata	1,746	0,878	1,461

Perhitungan volume cetakan menggunakan rumus.

$$Volume_{cetakan} = p \times l \times t \quad (2)$$

$$Volume_{cetakan} = 18 \times 14,5 \times 0,3$$

$$Volume_{cetakan} = 78,3 \text{ cm}^3$$

4.3 Perhitungan Volume serat 30% dan Polypropylene 70%

Perhitungan volume serat/PP menggunakan rumus.

$$V_{serat} = 30\% \times 78,3 \text{ cm}^3 = 23,49 \text{ cm}^3$$

$$V_{polypropylene} = 70\% \times 78,3 \text{ cm}^3 = 54,81 \text{ cm}^3$$

4.5 Perhitungan Massa Serat 30% dan Polypropylene 70%

Perhitungan massa serat/PP menggunakan rumus berikut.

$$V = \frac{m}{\rho_s} \rightarrow m = V \times \rho \quad (3)$$

variasi perbandingan serat lidah mertua dan sabut kelapa sebesar 50:50 sehingga fraksi volume serat dibagi untuk dua jenis serat yaitu serat lidah mertua yang disusun secara searah dan sabut kelapa yang disusun secara acak sebagai berikut:

$$m_{serat} = \frac{19,575}{2} = 9,787 \text{ cm}^3$$

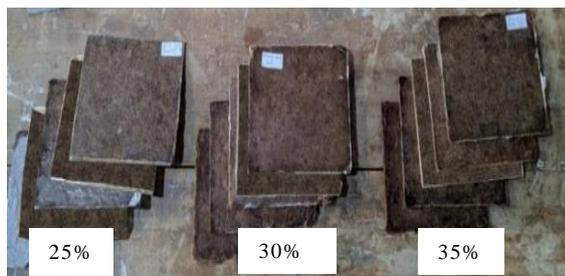
$$m_{serat \text{ lidah mertua}} = 11,745 \times 1,368 = 16,067 \text{ g}$$

$$m_{serat \text{ sabut kelapa}} = 11,745 \times 1,242 = 14,587 \text{ g}$$

$$m_{polypropylene} = 58,725 \times 0,878 = 48,01 \text{ g}$$

4.6 Hasil Cetakan Material Komposit

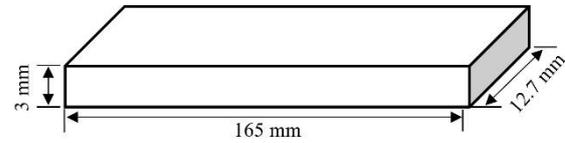
Setelah mengetahui massa serat dan polypropylene pada masing-masing fraksi volume maka dilakukan pencetakan material komposit.



Gambar 8. Hasil pencetakan material komposit

4.7 Pemotongan Spesimen Untuk Uji Tarik

Spesimen uji tarik dipotong dengan mengacu pada ASTM D-638 dengan dimensi panjang 165 mm, lebar 12,7 mm, tebal 3 mm.



Gambar 9. Ukuran spesimen uji tarik ASTM D-638



Gambar 10. Hasil pemotongan spesimen uji tarik

4.8 Data Hasil Pengujian Tarik Komposit

Pengujian spesimen uji tarik dilakukan di Lab. Metalurgi Universitas Udayana menggunakan alat uji mekanik tensilon RTG-1250. Data hasil pengujian dihitung menggunakan rumus sebagai berikut.

Tegangan tarik dihitung menggunakan persamaan.

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (4)$$

Keterangan:

σ = Tegangan tarik (Mpa)

P = Beban yang diterima (N)

A_0 = Luas penampang benda uji (mm^2)

Regangan tarik dihitung menggunakan persamaan.

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

Keterangan:

ε = Regangan (mm/mm)

l_1 = Panjang akhir (mm)

l_0 = Panjang awal (mm)

Modulus elastisitas dihitung menggunakan persamaan.

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

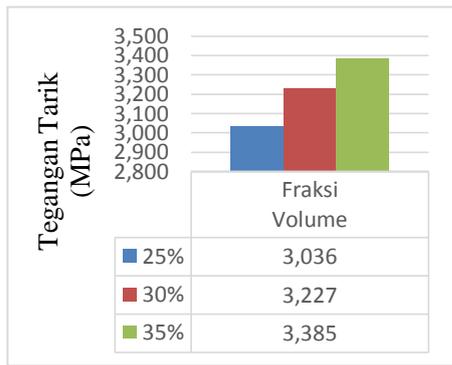
Keterangan:

E = Modulus elastisitas (Mpa)

σ = Tegangan daerah elastis (Mpa)

ε = Regangan di daerah elastis

Grafik dibawah menunjukkan hasil dari perhitungan data pengujian tarik komposit serat lidah mertua dan sabut kelapa yaitu sebagai berikut.

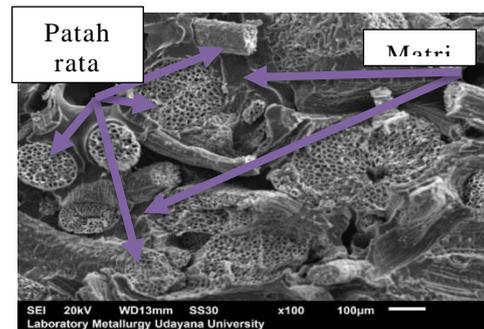


Gambar 11. Grafik hubungan fraksi volume terhadap kekuatan tarik

Nilai kekuatan tarik meningkat seiring dengan bertambahnya fraksi volume serat dan kekuatan tarik terendah terdapat pada fraksi volume 25% sebesar 20,351 MPa dan nilai kekuatan tarik tertinggi terdapat pada fraksi volume 35% sebesar 29,463 MPa yang terjadi kenaikan kekuatan tarik sebesar 44,77%. Kekuatan tarik dapat meningkat karena semakin besar fraksi volume serat yang diberikan maka kekuatan tarik menjadi besar karena fungsi serat sebagai bahan penguat atau penopang beban utama pada material komposit sehingga semakin besar persentase serat atau penguat maka kekuatan tarik atau beban yang mampu ditahan oleh komposit juga semakin besar. Namun penambahan fraksi volume juga perlu diperhatikan karena jika terlalu banyak serat dan sedikit matriks mengakibatkan tidak maksimal dalam mengikat antar serat. Perlakuan NaOH 5% dapat membuat lignin, hemiselulosa dan zat pengotor berkurang dan serat menjadi lebih bersih dan kasar sehingga dapat meningkatkan ikatan antarmuka serat dan matriks, ikatan antarmuka serat dengan matriks yang baik dapat meningkatkan kekuatan tarik karena komposit dapat menerima beban dengan sepenuhnya yang diteruskan dari matriks ke serat tanpa adanya slip. Hal tersebut didukung oleh hasil pengamatan uji SEM pada Gambar 11.

Hasil uji pengamatan SEM untuk komposit dengan perlakuan NaOH menunjukkan serat terjadi patahan rata dengan matrik dan tidak ada *pull out* yang menandakan bahwa ikatan antara serat dan matrik yang baik karena lignin, hemiselulosa yang berkurang sehingga matriks bisa mengikat serat dengan baik dan beban yang

diterima komposit ditahan secara bersamaan antara matrik dan serat tanpa adanya slip dan kegagalan terjadi karena batas kekuatan dari serat bukan karena slip antara serat dan matrik. Perlakuan NaOH 5% selama 2 jam dapat meningkatkan kekuatan tarik dibanding serat tanpa perlakuan karena serat alam memiliki lignin, hemiselulosa dan zat pengotor yang membuat ikatan antarmuka antara serat sebagai penguat dan matriks menjadi kurang baik.

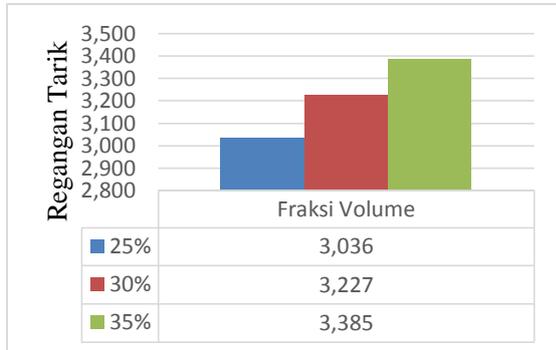


Gambar 12. Hasil uji SEM serat lurus dengan perlakuan NaOH pembesaran x100

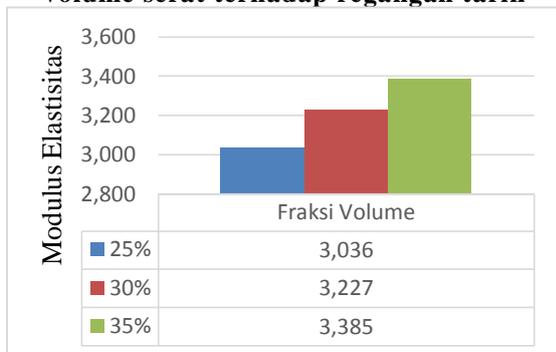
Pada Penelitian ini kekuatan tarik memiliki nilai yang lebih rendah dibanding penelitian (suantara, dkk, 2018) yang mendapat nilai kekuatan tarik maksimum sebesar 71,606 MPa pada variasi serat searah, hal ini disebabkan pada penelitian komposit hybrid serat dibagi menjadi dua susunan yaitu serat lidah mertua disusun secara searah dan sabut kelapa disusun secara acak dengan perbandingan variasi serat hybrid 50:50 jika seluruh serat disusun secara searah maka seluruh serat yang terdapat pada spesimen komposit menerima pembebanan searah dengan panjang serat dan pembebanan yang diterima dari bagian ujung ke bagian ujung material diterima oleh serat secara penuh karena bentuk serat yang searah dibandingkan dengan serat yang disusun secara acak maka pembebanan tidak bisa secara maksimum dapat ditahan oleh serat karena serat disusun acak.

Berdasarkan variasi fraksi volume serat nilai regangan tarik meningkat seiring dengan penambahan fraksi volume serat yang diberikan. regangan terendah terdapat pada fraksi volume 25% yaitu sebesar 1,4296 dan meningkat 19,27% pada fraksi volume 30% sebesar 1,7051 dan regangan tertinggi terdapat pada fraksi volume 35% yang meningkat 33,39% dari fraksi volume 25% yaitu sebesar 1,907. Hal ini bisa terjadi

karena nilai tegangan pada serat dengan fraksi volume 35% dengan perlakuan NaOH yang tinggi dan diimbangi dengan regangan yang tinggi dan menandakan material lebih ulet dibanding material dengan fraksi volume serat 25% atau 30%.



Gambar 13. Grafik hubungan fraksi volume serat terhadap regangan tarik



Gambar 14. Grafik hubungan fraksi volume terhadap modulus elastisitas

Berdasarkan variasi fraksi volume serat yang diberikan yaitu 25%, 30%, dan 35% nilai modulus elastisitas naik seiring bertambahnya fraksi volume serat yang diberikan, nilai modulus elastisitas terendah terdapat pada fraksi volume serat 25% sebesar 3,036 GPa dan naik 6,29% sebesar 3,227 GPa pada fraksi volume 30% dan nilai modulus elastisitas tertinggi terdapat pada variasi fraksi volume 35% yang naik 11,49% dari fraksi volume 25% sebesar 3,385 GPa. Hal ini menandakan dengan penambahan fraksi volume yang diberikan yaitu 25%, 30% dan 35% dapat meningkatkan tegangan tarik di daerah elastis dan membuat material menjadi lebih keras.

5. Kesimpulan

Variasi fraksi volume serat yang diberikan yaitu 25%, 30% dan 35% sangat berpengaruh terhadap kekuatan tarik dan kekuatan tarik terendah diperoleh yaitu sebesar 20,351 MPa pada fraksi volume 25% dan nilai tegangan tarik tertinggi terdapat pada serat dengan fraksi volume 35% yang naik 44,77% sebesar 29,463 MPa.

Daftar Pustaka

- [1] Suantara, I.K.T. N.P.G. Suardana. I.P. Lokantara., 2018, *Pengaruh Variasi Panjang Serat Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Polypropylene Daur Ulang Berpenguat Serat Sansevieria trifasciata*. Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika. Vol. 7, No. 4, pp 341-346
- [2] Bettini, S. H. P., A.B.L.C. Bicudo., I.S., 2010, *Investigation on the Use of Coir Fiber as Alternative Reinforcement in Polypropylene*, Journal of Applied Polymer Science University of federal de sao carlos, sao Paulo brazil. 2843-2846.
- [3] Gibson, F.R., 1994, *Principles of Composite material Mechanis*, International Edition, McGraw-Hill Inc, New York.
- [4] Yan. L., N. Chouw., L. Huang., Kasal. B., 2016, *Effect of alkali treatment on microstructure and mechanical properties of coir fibres, coir fibre reinforced-polymer composites and reinforced-cementitious composites*. Construction and Building Material 112. 168-182.
- [5] Gururaja M. N., A.N.H. Rao, 2012, *A Review on Recent Applications and Future Prospectus of Hybrid Composites*, International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE). Vol. 1, Issue 6 352-354
- [6] Rwwiire, S., B. Tomkova. 2015, *Morphological, thermal, and mechanical characterization of sansevieria trifasciata fibers*. Jurnal Of Natural Fibers, 12, pp. 201-210. DOI: 10.1080/15440478.2014.



Yoga Setiawan menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana, pada tahun 2021, Bidang konsentrasi yang diminati adalah rekayasa manufaktur.

Topik yang diangkat dalam tugas akhir/ skripsi berupa komposit daur ulang sampah plastik dengan bahan serat alam.

Pengaruh Variasi Fraksi Volume Serat Terhadap Daya Serap Air Komposit *Hybrid Polypropylene* / Serat Lidah Mertua Dan Sabut Kelapa

Azmidar Raizaldi Rais, Ngakan Putu Gede Suardana, I Putu Lokantara
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Komposit hybrid merupakan komposit yang terdiri dari dua jenis penguat atau lebih yang berbeda. Komposit hybrid memiliki sifat-sifat yang lebih baik dari komposit dengan satu jenis penguat (Penguatan.tunggal). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi fraksi volume serat terhadap daya serap air komposit hybrid polypropylene / serat lidah mertua dan sabut kelapa. Spesimen yang diuji diberi perlakuan NaOH ditambah acrylic acid dan variasi fraksi volume yang digunakan adalah 25%, 30%, dan 35% serat pada masing-masing perlakuan. Metode pengujian yang dilakukan berpedoman pada ASTM D570-98. Hasil menunjukkan semakin besar fraksi volume serat maka semakin tinggi persentase penyerapan air pada komposit. Hasil persentase penyerapan air tertinggi sebesar 23,21% didapat dari spesimen dengan fraksi volume 35%. Sementara hasil persentase penyerapan air terendah didapat dari spesimen dengan fraksi volume 25% dengan nilai 18,67%.

Kata Kunci: Penyerapan Air, Komposit Hibrid, Acrylic Acid, Sansevieria Trifasciata, Polypropelene

Abstract

Hybrid composite is a composite that made of two or more reinforcement layers. Hybrid composite have better characteristic than a composite that made of single reinforcement. Purpose of this research is to get to know what is the influence of volume fraction to water absorption of hybrid polypropelene composite strengthen using sansevieria trifasciata and coconut fiber. Specimen treated with NaOH and acrylic acid while for volume fraction that used are 25%, 30%, and 35% fiber on each treatment. Method that used is based on ASTM D570-98. The results shows that specimen with higher volume fraction has higher water absorption percentage. The highest result of water absorption is 23.21% obtained from specimen with 35% volume fraction. While the lowest result of water absorption is obtained from specimen with 25% volume fraction with value 18.67%.

Kata Kunci: Water Absorption, Hybrid Composite, Acrylic Acid, Sansevieria Trifasciata, Polypropelene

1. Pendahuluan

Pada saat ini, banyak masalah mengenai lingkungan yang sudah terjadi di Indonesia. Salah satunya adalah permasalahan sampah di Bali yang selalu meningkat tiap tahunnya. Data statistik-lingkungan hidup 2018 yang dikeluarkan BPS menunjukkan pada tahun 2017 sebanyak 3657.20 m³ [1].

Menurut data sampah yang masuk ke TPA Sarbagita yang dirilis oleh Dinas Lingkungan Hidup Pemerintah Provinsi Bali, jenis sampah plastik pada tahun 2019 tercatat sebanyak 16% atau 800 m³ dari total sampah yang masuk ke TPA Sarbagita. Sampah berbahan plastik bisa bertahan sangat lama bahkan sampai bertahun-tahun, oleh karena itu sampah plastic akan menyebabkan lingkungan tercemar. Mengurangi sampah plastik dengan melakukan pembakaran akan menghasilkan gas yang menimbulkan polusi udara dan apabila sampah berbahan plastik ditimbun di dalam tanah, tanah dan juga air akan tercemar karena sifatnya yang sulit untuk membusuk.

Dengan jumlah yang sangat besar, sampah plastik akan berdampak buruk terhadap lingkungan dan kesehatan manusia karena sifat plastik yang sulit untuk terdegradasi

Salah satu keuntungan menggunakan lidah mertua sebagai bahan penguat komposit yaitu lidah mertua itu sendiri tidak membutuhkan penanganan dan perlakuan khusus cukup dibiarkan saja. Dengan kemudahan penanganan tanaman yang menyebabkan ketersediaan tanaman ini sangat banyak, kandungan serat dalam tanaman ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan penguat dalam material komposit.

Dilain sisi, meskipun daun lidah mertua mudah didapat tapi tanaman lidah mertua merupakan tanaman hias yang berarti untuk mendapatkan tanaman ini harus dengan membeli. Untuk menutupi kekurangan dari lidah mertua tersebut digunakanlah serat sabut kelapa. Salah satu serat dengan jumlah sangat banyak sekaligus memiliki potensi

sebagai pengganti serat sintetis adalah serat sabut kelapa.

Berdasarkan dari beberapa penelitian dan latar belakang mengenai *polypropylene* di atas, penelitian tentang pemanfaatan sampah plastik *polypropylene* sebagai bahan untuk pembuatan material komposit dengan serat lidah mertua dan sabut kelapa dengan variasi fraksi volume untuk mengetahui pengaruh terhadap daya serap air perlu dilakukan.

2. Dasar Teori

2.1 Komposit Hybrid

Komposit *hybrid* merupakan komposit yang terdiri dari dua jenis penguat atau lebih yang berbeda. Komposit *hybrid* memiliki sifat-sifat yang lebih baik dari komposit dengan satu jenis penguat (Penguatan.tunggal).

2.2 Pengujian Serap Air

Persentase daya serap air yang dilakukan menggunakan perhitungan menggunakan rumus sesuai ASTM D570-98, sebagai berikut:

$$W_A = \frac{W_t - W_0}{W_0} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana:

W_A = Persentase Daya Serap Air (%)

W_0 = Berat awal benda uji saat kering (g)

W_t = Berat benda uji setelah direndam dengan waktu tertentu (g)

3. Metode penelitian

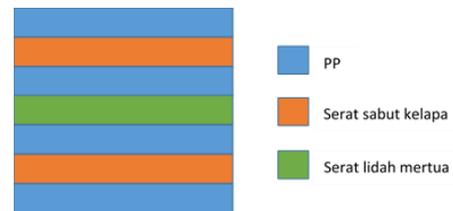
Pada penelitian tentang penyerapan air komposit *hybrid* ini, matriks yang digunakan dalam adalah *polypropylene* dan penguat yang digunakan adalah serat lidah mertua (*Sansevieria Trifasciata*) dan serat sabut kelapa. Pengekstrakan serat lidah mertua dilakukan dengan cara *water retting*, yaitu dengan cara pembusukan dengan direndam dalam air. Metode pengujian serap air mengacu pada ASTM D570-98 dengan ukuran spesimen 76.2 x 25.4 x 3. Variasi fraksi volume yang dibandingkan yaitu 25%, 30%, dan 35% serat. Sebelum komposit dicetak serat diberikan perlakuan NaOH dan *acrylic acid* terlebih dahulu. Pencetakan komposit menggunakan mesin *hot press*. Proses perendaman spesimen dilakukan dengan rentang waktu 1 jam, 3 jam, 6 jam, 12 jam, 24 jam, kemudian setiap 24 jam hingga penambahan massa spesimen konstan. Selain menghitung pertambahan massa spesimen, pertambahan Panjang, lebar, dan tebal spesimen juga dihitung setiap sebelum dan sesudah perendaman.

3.1 Proses Pembuatan Komposit

1. Serat sabut kelapa dan serat lidah mertua yang sebelumnya sudah dipotong dengan panjang yang ditentukan dihitung fraksi volume

serat sebesar 25% dan *polypropylene* bekas yang sudah dipotong kecil.

2. Cetakan dilapisi dengan *aluminium foil* bertujuan agar larutan komposit cair tidak menempel pada cetakan.
3. *Polypropylene* dan serat disusun pada cetakan sesuai dengan merata sesuai skematik dibawah.



Gambar 1 Skematik Urutan Komposisi Komposit

4. Cetakan ditutup dan dimasukkan ke mesin *hot press* dengan diberi tekanan sebesar 3000psi.
5. Mesin *hot press* dihidupkan dengan temperatur seting 160°C tunggu selama 5 menit setelah temperatur tercapai kemudian pencetakan ditunggu selama 2 jam lalu mesin dimatikan.
6. Mesin *press* dimatikan kemudian diberikan penekanan dengan berat 50 kg sambil didinginkan menggunakan kipas angin.
7. Spesimen komposit siap dikeluarkan setelah cetakan benar-benar dingin.
8. Poin 1 – 7 dapat diulang untuk pengerjaan spesimen uji dengan fraksi volume 30%, 35%.

3.2 Prosedur Pengujian Uji Penyerapan Air

1. Spesimen uji dipotong sesuai standar ASTM D570-98.
2. Spesimen uji yang sudah dipotong sesuai ASTM disimpan di dalam oven selama 3 jam dengan suhu 50°C agar kandungan air setiap spesimen uji sama.
3. Mempersiapkan peralatan untuk pengujian penyerapan air:
 - a. Mempersiapkan wadah.
 - b. Mengisi wadah dengan air dengan ketinggian air masing-masing wadah sama.
4. Spesimen yang sudah dikeringkan dalam oven masing-masing ditimbang dan diukur dahulu untuk mendapatkan berat awal (W_0) dan dimensi awal.
5. Spesimen direndam dalam air yang sudah disediakan di wadah.
6. Perendaman setiap spesimen diberi jeda 2 menit antara spesimen satu

dengan yang lainnya agar adanya jeda waktu saat penimbangan.

7. Perendaman masing-masing spesimen uji dilakukan dengan rentan waktu 1 jam, 3 jam, 6 jam, 12 jam, 24 jam dan kemudian setiap kelipatan 24 jam terus dilakukan sampai pertambahan berat spesimen uji tidak signifikan lagi atau maksimal hingga 1 bulan perendaman.
8. Setelah direndam sesuai dengan waktu yang sudah ditentukan, spesimen diangkat dan dilap dengan kain kering atau tisu untuk mengeringkan permukaan spesimen hingga permukaan spesimen tidak ada lagi air yang menetes.
9. Spesimen ditimbang dengan menggunakan timbangan digital dengan ketelitian 0.01 g untuk mendapatkan berat akhir W_t , dan hitung presentase penyerapan airnya (W_A).
Keterangan:
Ketelitian alat ukur sesuai ASTM D570 adalah 0.001 g tetapi penulis menggunakan ketelitian 0.01 g karena sudah cukup untuk penelitian pendahuluan.
10. Setelah berat akhir spesimen ditimbang, dimensi spesimen (panjang, lebar, dan tebal) diukur dengan menggunakan jangka sorong dengan ketelitian 0.01 dan catat pertambahan dimensinya.
11. Ulangi prosedur 5-8 hingga penambahan massa pada seluruh spesimen komposit konstan.

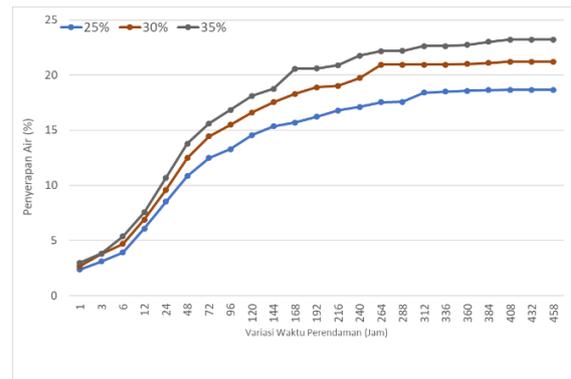
4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Pengujian Serap Air

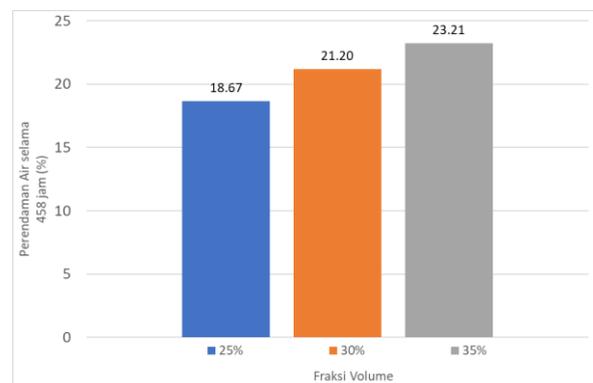
Setelah melakukan perendaman terhadap komposit sampai massa penambahan komposit konstan didapat grafik hasil pada gambar berikut.

Gambar 2 menunjukkan grafik perbandingan daya serap air dari setiap variasi spesimen mulai dari 1 jam perendaman hingga pertambahan berat spesimen konstan atau tidak menunjukkan pertambahan berat lagi. Ditunjukkan juga pada Gambar 2 bahwa komposit sudah menunjukkan pertambahan berat yang sudah dinyatakan konstan pada saat perendaman sudah dilakukan selama 458 jam.

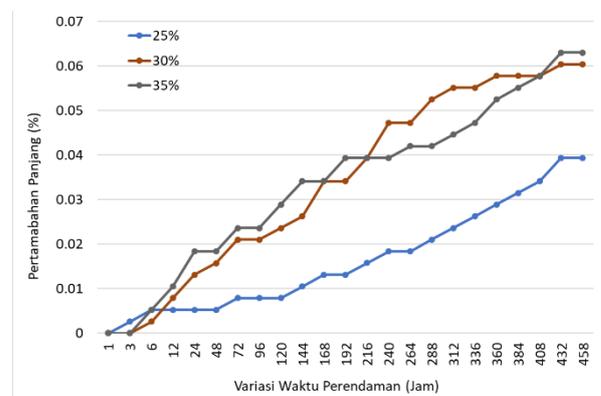
Dari pengujian penyerapan air yang sudah dilakukan dapat dilihat pada grafik di Gambar 3 menunjukkan penyerapan air paling kecil adalah komposit dengan variasi fraksi volume 25% dengan persentase penyerapan air sebesar 18.67%.



Gambar 2. Grafik Hubungan Antara Variasi Waktu Perendaman Terhadap Penyerapan Air Komposit



Gambar 3. Grafik Hasil Penyerapan Air Komposit Selama 458 Jam

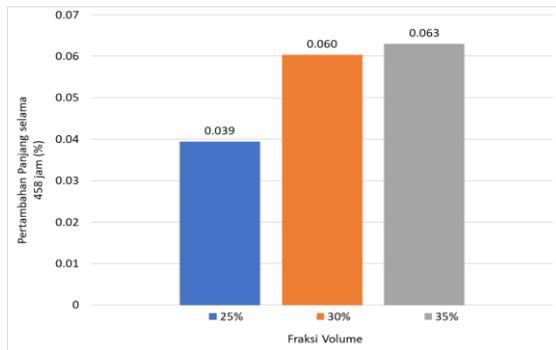


Gambar 4. Grafik Hubungan Antara Variasi Waktu Perendaman Terhadap Pertambahan Panjang Komposit

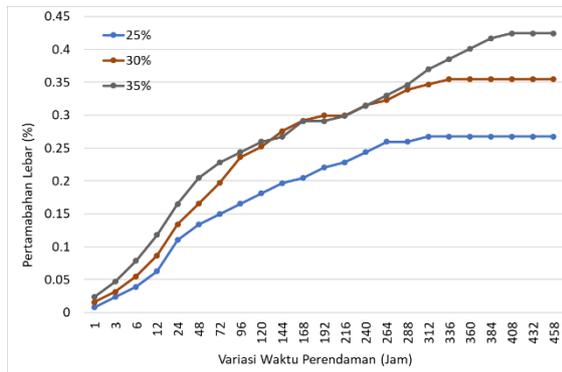
Sementara itu spesimen dengan fraksi volume berbeda memiliki nilai persentase penyerapan air lebih besar, yaitu 21.20% untuk fraksi volume 30% dan 23.21% untuk fraksi volume 35%. Hal ini menunjukkan semakin tinggi fraksi volume serat maka akan lebih banyak menyerap air karena karakteristik dari serat itu sendiri adalah menyerap air [3] dan dengan lebih banyak serat maka akan lebih banyak juga rongga-rongga yang memberikan celah pada air untuk masuk secara kapilarisasi [4].

Spesimen diberikan perlakuan NaOH dan *acrylic acid* sehingga menyerap lebih sedikit air karena perlakuan dari NaOH membersihkan serat sekaligus membuat permukaan serat menjadi kasar sehingga permukaan serat yang kasar tersebut menghasilkan *mechanical interlocking* yang membuat ikatan antara matriks dan serat menjadi lebih kuat [5]. Selain itu, lapisan dari *Acrylic Acid* melapisi serat sehingga air tidak mudah menyebar ke serat.

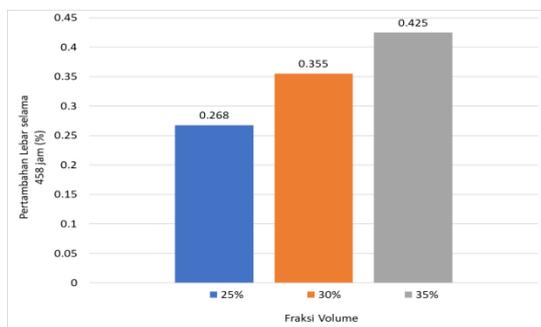
Selain penambahan berat spesimen, dimensi spesimen juga mengalami peningkatan seperti yang ditunjukkan pada grafik berikut:



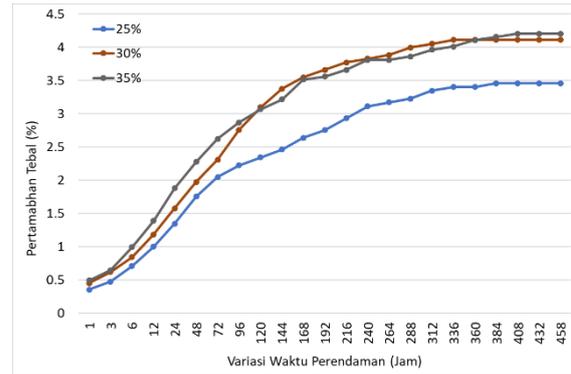
Gambar 5. Grafik Hasil Pertambahan Panjang Komposit Selama 458 Jam



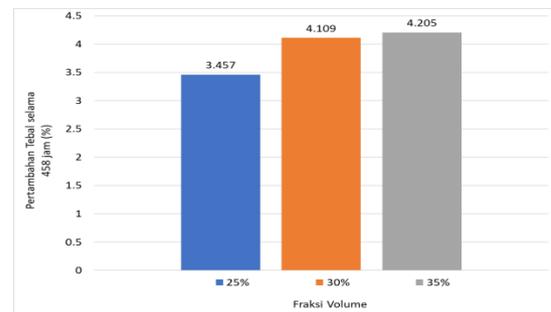
Gambar 6. Grafik Hubungan Antara Variasi Waktu Perendaman Terhadap Pertambahan Lebar Komposit



Gambar 7. Grafik Hasil Pertambahan Lebar Komposit Selama 458 Jam

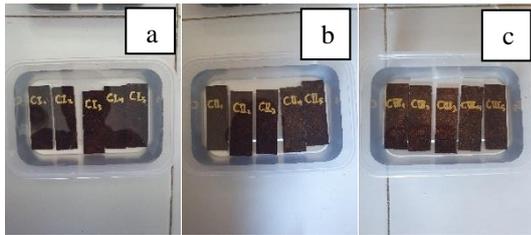


Gambar 8. Grafik Hubungan Antara Variasi Waktu Perendaman Terhadap Pertambahan Tebal Komposit



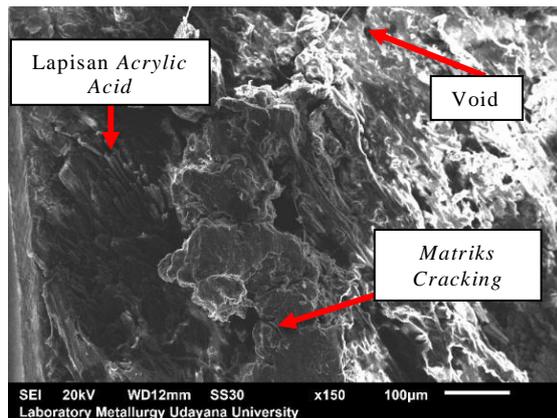
Gambar 9. Grafik Hasil Pertambahan Tebal Komposit Selama 458 Jam

Selain penambahan berat spesimen, dimensi dari spesimen juga bertambah berbanding lurus dengan pertambahan beratnya. Hal ini dikarenakan adanya *swelling* atau pembengkakan pada serat yang diakibatkan oleh masuknya air pada serat. Berdasarkan hasil yang didapat pada Gambar 5 pertambahan Panjang spesimen setelah 458 jam paling tinggi didapat oleh fraksi volume 35% dengan nilai 0.063% sedangkan pertambahan panjang paling kecil didapat dengan fraksi volume 25% yaitu sebesar 0.039%. Pada Gambar 7 menunjukkan pertambahan tebal spesimen setelah 458 jam perendaman dengan pertambahan lebar paling tinggi terjadi pada spesimen fraksi volume 35% dengan nilai 0.425% sedangkan pertambahan lebar terendah terjadi pada fraksi volume 25% dengan nilai 0.268%. Lalu pertambahan tebal setelah 458 jam perendaman ditunjukkan pada Gambar 9 yang menunjukkan spesimen dengan pertambahan tebal tertinggi terjadi pada fraksi volume 35% dengan nilai 4.205% dan pertambahan tebal terendah oleh fraksi volume 25% dengan nilai 3.457%. Hasil pertambahan spesimen tersebut menunjukkan dimensi spesimen juga akan bertambah seiring dengan pertambahan beratnya tetapi tidak signifikan.

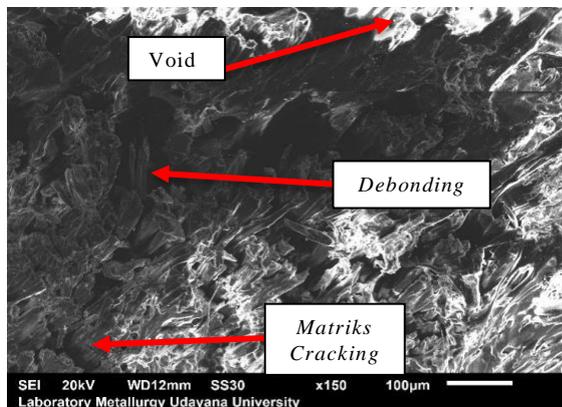


Gambar 10. Foto Perendaman Spesimen (A) Fraksi Volume 25% (B) Fraksi Volume 30% (C) Fraksi Volume 35%

4.2 Hasil Pengujian SEM



Gambar 11 . SEM Spesimen Komposit dengan Fraksi Volume Serat 25%



Gambar 12. Spesimen Komposit dengan Fraksi Volume Serat 35%

Hasil pendukung dari pengamatan spesimen dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM), dapat dilihat pada Gambar 11 menunjukkan hasil pengamatan SEM fraksi volume serat 25% yang memiliki rata-rata persentase penyerapan air terendah, terlihat ikatan matriks dan serat yang lebih baik karena tidak terlihan *Debonding* namun masih bias dilihat adanya *matriks cracking* yang diakibatkan ketidaksempurnaan saat pencetakan.

Pada Gambar 12 yaitu hasil SEM pada spesimen dengan fraksi volume 35% yang menjadi spesimen dengan rata-rata daya serap

air paling tinggi terlihat adanya *matriks cracking* dan juga *debonding* atau terlepasnya ikatan serat dan matriks karena lebih banyaknya air masuk terserap dalam komposit karena lebih banyaknya serat di dalam komposit.

5. Kesimpulan

1. Pengaruh variasi fraksi volume terhadap daya serap air komposit *hybrid polypropelene* serat lidah mertua dan sabut kelapa adalah semakin tinggi fraksi volume serat maka penyerapan air pada komposit akan semakin tinggi.
2. Persentase penyerapan air tertinggi setelah 458 jam perendaman di *aquades* terjadi pada spesimen komposit berpenguat serat lidah mertua dan serat sabut dengan fraksi volume 35% yaitu 23.21% sedangkan persentase penyerapan air paling rendah terjadi pada spesimen komposit berpenguat serat lidah mertua dan serat sabut kelapa dengan fraksi volume 25% yaitu 18.67%.

Daftar Pustaka

- [1] Badan Pusat Statistik, 2018, *Statistik Lingkungan Hidup Indonesia (SLHI) 2018*, Jakarta, Badan Pusat Statistik.
- [3] Surdia, T. and Saito, S., 1999, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Jakarta, PT. Pradnya Paramita.
- [4] Dhakal, H. N., Zhang, Z. Y. and Richardson, M. O. W., 2007 *Effect of water absorption on the mechanical properties of hemp fibre reinforced unsaturated polyester composites*, Composites Science and Technology vol. 67, no. 6-7, pp. 1674-1683
- [5] Lokantara, P., Putu, N. and Suardana, G., 2009, *Studi Perlakuan Serat Serta Penyerapan Air Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Tapis Kelapa / Polyester*, Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakra M, vol. 3, no. 1, pp. 49–56.



Azmidar Raizaldi Rais menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana, Program Studi Teknik Mesin pada tahun 2021.

Bidang Penelitian yang menjadi konsentrasi adalah pembahasan mengenai rekayasa manufaktur.

Pengaruh Variasi Fraksi Volume Terhadap Ketahanan Api Komposit Hibrid *Polypropylene* Dengan Penguat Serat Lidah Mertua Dan Sabut Kelapa

Yoseph Christian Armando, Ngakan Putu Gede Suardana, I Putu Lokantara

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Sampah plastik merupakan salah satu masalah yang tengah dihadapi, dikarenakan sampah jenis ini sangat sulit terurai. Banyaknya jumlah limbah plastik dapat menyebabkan tercemarnya tanah serta merusak pemandangan. Limbah sampah plastik akan dimanfaatkan pada penelitian ini sebagai matriks komposit berpenguat serat lidah mertua dan sabut kelapa. Komposit secara umum adalah sebuah material baru dengan penggabungan dua atau lebih bahan yang berbeda dengan tujuan menghasilkan suatu material baru yang memiliki sifat lebih baik dari bahan penyusunnya sendiri. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui daya tahan api komposit *polypropylene* berpenguat serat lidah mertua dan sabut kelapa dengan variasi fraksi volume 25%, 30%, dan 35%. Hasil uji ketahanan api komposit hibrid *polypropylene* dengan penguat serat lidah mertua dan sabut kelapa menunjukkan bahwa spesimen dengan 35% memiliki laju pembakaran linear, laju kehilangan berat, serta persentase kehilangan berat paling optimal yaitu 12,60 mm/menit, 0,591 gram/menit, dan 64,40% dan spesimen dengan fraksi volume 25% mendapat hasil pembakaran, laju kehilangan berat, dan persentase kehilangan berat tertinggi yaitu 14,05 mm/menit, 0,646 gram/menit, dan 70,50%. Dengan demikian terjadi penurunan laju pembakaran linear, laju kehilangan berat, serta persentase kehilangan berat secara berturut-turut sebesar 10,32%, 8,51%, dan 8,65%.

Kata kunci: Komposit hibrid, fraksi volume, lidah mertua, sabut kelapa, Ketahanan api

Abstract

Plastic waste is one of the problems being faced. The large amount of plastic waste can cause soil contamination. Plastic waste will be used in this study as a matrix with the strength of the tongue-in-law and coconut coir fibers. Composite in general is a new material by combining two or more different materials to produce a new material that has better properties than the constituent materials. This study aims to determine the fire resistance of *polypropylene* composites reinforced by the tongue-in-law and coconut fibers with variations in volume fractions of 25%, 30%, and 35%. The results of the fire resistance test of *polypropylene* hybrid composites with in-law tongue and coconut fiber as reinforcement showed that the specimens with 35% had a linear combustion rate, weight loss rate, and the most optimal percentage of weight loss, namely 12.60 mm / minute, 0.591 gram / minute, and 64.40% and specimens with a volume fraction of 25% obtained the highest combustion yield, weight loss rate, and weight loss percentage, namely 14.05 mm / minute, 0.646 gram / minute, and 70.50%. Thus there was a decrease in the linear combustion rate, the weight loss rate, and the weight loss percentage respectively 10.32%, 8.51%, and 8.65%.

Keywords: Hybrid composites, volume fraction, tongue-in-law, coconut husk, fire resistance

1. Pendahuluan

Sampah merupakan masalah yang hingga saat ini terus menjadi sorotan. Dalam hal ini yang menjadi fokus utamanya adalah sampah plastik. Menurut (Adharsyah,2019) Indonesia menempati urutan ke dua negara dengan pencemaran sampah plastik ke laut yaitu sekitar 1,29 juta ton. Sampah jenis ini merupakan sampah yang tidak dapat terurai dengan mudah oleh mikroorganisme. Masalah sampah plastik seperti ini sebenarnya dapat dihindari jika diberikan penanggulangan yang tepat dan jikalau tidak maka akan menimbulkan pencemaran lingkungan seperti yang sudah dijelaskan di paragraf pertama. Salah satu upaya terbaik untuk menanggulangi masalah ini adalah dengan mendaur

ulang atau recycle sebagaimana terdapat dalam prinsip 3R (Reduce, Reuse, Recycle) menjadi komposit sehingga dapat dimanfaatkan kembali. Komposit dengan penguat serat sintetis pada umumnya memiliki kelemahan – kelemahan baik dalam proses produksinya maupun dalam penggunaan serta pasca penggunaannya, dikarenakan bahan sintetis memerlukan harga yang tinggi untuk mendapatkannya hal ini termasuk dalam kelemahan secara produksi. Hal lain yang menjadi kelemahan serat sintetis adalah ini adalah bahan sintetis maka daya recycle nya rendah. Maka dari itu penggunaan serat alami yang lebih ramah lingkungan sebaiknya lebih diperbanyak lagi penggunaannya sebagai penguat dalam pembuatan komposit. Dengan

memanfaatkan limbah sampah plastik sebagai komposit maka akan mengurangi pencemaran lingkungan yang sudah terjadi sekarang ini ditambah dengan penggunaan serat alami sebagai bahan penguat komposit. Penggunaan serat alami merupakan usaha untuk mengurangi dampak lingkungan karena mudahnya terurai di secara alami . Selain itu penggunaan serat alam ini mempunyai beberapa kelebihan antara lain: mudah didapat, jumlahnya berlimpah dan dapat diperbaharui [1]. Adanya gabungan dua serat yang berbeda dapat meningkatkan nilai kekuatan mekanis komposit *hybrid* [2].

Penelitian ini memiliki tujuan utama yaitu untuk mengetahui daya tahan api dari material komposit *polypropylene* dengan penguat serat lidah mertua dan sabut kelapa yang divariasikan fraksi volumenya.

2. Dasar Teori

2.1. Serat

Tanaman lidah mertua (*Sansevieria trifasciata*) merupakan tanaman yang dapat ditemukan dimana saja seperti di halaman rumah, kebun, taman, dan hutan. Scanning mikroskop electron dan Fourier Transform Infrared (FTIR) dan sifat termal menggunakan analisis Thermogravimetric (TGA). Dari hasil TGA diperoleh temperature serat stabil pada 200°C dan terdekomposisi selulosanya pada temperature 315°C [3]. Dengan ini menunjukkan bahwa serat lidah mertua dapat bertahan pada temperatur yang tinggi. Pada umumnya masyarakat menggunakan sabut kelapa ini menjadi anyaman keset ataupun sebagai bahan untuk bakaran, namun jika dilihat sisi lainnya sabut kelapa ini dapat dimanfaatkan menjadi serat kelapa (*cocofibre*) yang juga menambah nilainya secara ekonomis.



Gambar 1. (a) Lidah Mertua, (b) Sabut Kelapa

2.2. Uji Ketahanan Api

Pengujian ketahanan api meliputi laju pembakaran linear, laju kehilangan berat, serta persentase kehilangan berat dengan menggunakan persamaan-persamaan berikut sesuai standar ASTM D635-03 sebagai berikut;

$$V = \frac{L}{t} \quad (1)$$

V = Laju Pembakaran Linear (mm/menit)

L = Panjang Terbakar (mm)

t = Waktu Terbakar (menit)

$$W = \frac{w}{t} \quad (2)$$

W = Laju Kehilangan Berat (gram/menit)

w = Kehilangan Berat (gram)

t = Waktu Terbakar (menit)

$$\% W_{\text{loss}} = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100\% \quad (3)$$

% W_{loss} = Persentase Kehilangan Berat (%)

W_0 = Berat Awal (gram)

W_1 = Berat Akhir (gram)

3. Metode Penelitian

Polypropylene akan digunakan sebagai matriks dalam penelitian kali ini, PP didapatkan dari kemasan air mineral dengan kapasitas 220mL. Adapun prosedur penelitian kali ini adalah dari persiapan bahan yaitu memotong PP dari kemasan air mineral dengan ukuran 10mm², lalu dilanjutkan dengan ekstraksi lidah mertua yang dimulai dengan pemecaran daun lidah mertua setelah itu direndam dengan air biasa selama 1 minggu hingga membusuk lalu daun yang sudah membusuk diambil seratnya dengan cara sikat lalu dibilas dengan bersih untuk menghilangkan bagian daun selain seratnya. Sabut kelapa diambil dan dibersihkan terlebih dahulu dengan cara memisahkan serat sabut kelapa yang kotor dengan yang bersih dan diambil yang bersihnya saja.

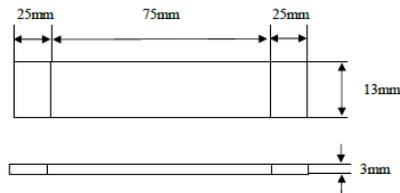
Serat lidah mertua dan sabut kelapa kemudian direndam dengan larutan NaOH berkonsentrasi 5% selama 2 jam lalu dibilas dengan air. Setelah diperoleh serat tanpa perlakuan, dengan perlakuan NaOH maka dilanjutkan dengan pemotongan serat yaitu serat lidah mertua dipotong sepanjang 180mm dan sabut kelapa sepanjang 10mm lalu disusun dalam cetakan dengan layout seperti pada gambar 2. Komposit dibagi menjadi 3 variasi yaitu komposit dengan fraksi volume serat 25%, 30%, dan 35%.



Gambar 2. Layout Komposit Hibrid

Hot Press digunakan sebagai metode dalam mencetak komposit hibrid polypropylene berpenguat serat lidah mertua dan sabut kelapa, prosedur pencetakan dimulai dengan menyiapkan cetakan yang telah dibersihkan terlebih dahulu lalu dioleskan gliserin guna mencegah menempelnya komposit pada cetakan. Setelah itu dilakukan penimbangan pada matriks PP, serat lidah mertua, dan serat sabut kelapa sesuai variasinya. Setelah penyusunan dilakukan, cetakan diletakkan pada mesin hot press dan diberikan tekanan sebesar 3000 psi dengan

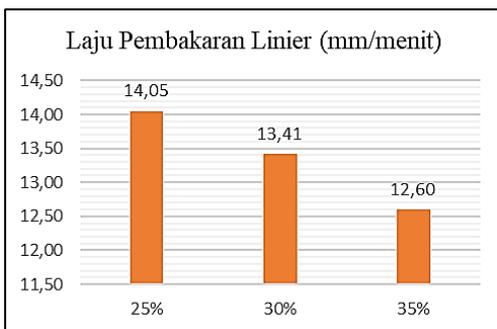
temperatur 160oC dengan waktu 2 jam hingga komposit terbentuk. Komposit yang telah jadi lalu dipotong sesuai ASTM D635-03 sebagai standar pengujian ketahanan api seperti pada gambar 3, lalu dilanjutkan dengan pengujian ketahanan api.



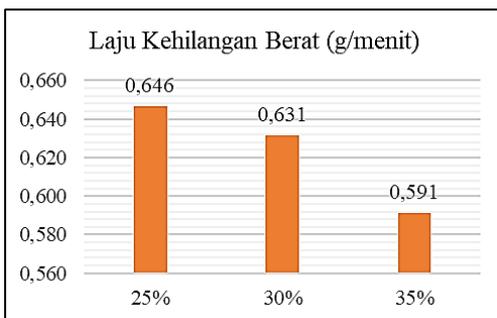
Gambar 3. Ukuran Spesimen ASTM D635-03

4. Hasil dan Pembahasan

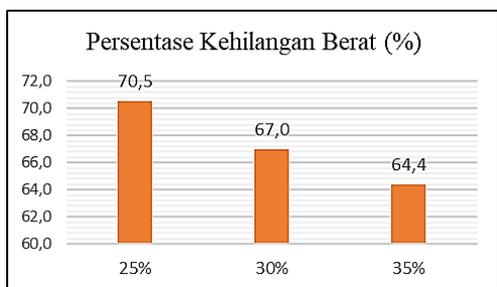
4.1 Hasil Pengujian Ketahanan Api



Gambar 4. Grafik Laju Pembakaran Linear



Gambar 5. Grafik Laju Kehilangan Berat



Gambar 6. Grafik Persentase Kehilangan Berat

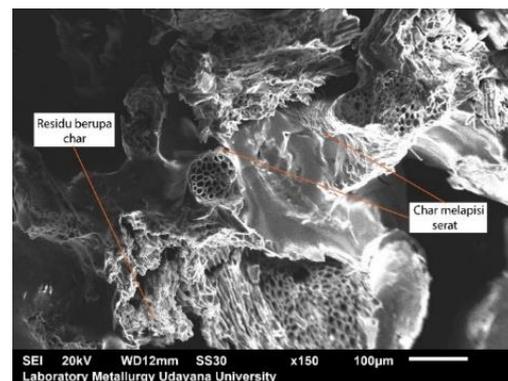
Pada Gambar 4. menunjukkan hasil laju pembakaran linear dengan menggunakan persamaan (1) dimana spesimen dengan variasi fraksi volume 35% mendapatkan hasil terbaik karena laju pembakaran linearnya terendah yaitu 12,60 mm/menit dikarenakan semakin banyaknya

konsentrasi serat dalam komposit mampu menghambat laju api dan spesimen dengan fraksi volume 25% memperoleh laju pembakaran tertinggi yaitu sebesar 14,05 mm/menit hal ini menunjukkan terjadinya penurunan sebesar 10,32%.

Gambar 5. yaitu grafik laju kehilangan berat dengan menggunakan persamaan (2) menunjukkan karakteristik yang sama seperti laju pembakaran linear, dimana spesimen dengan fraksi volume 35% memperoleh laju kehilangan berat terlambat yaitu 0,591 gram/menit dan spesimen dengan fraksi volume 25% menghasilkan laju kehilangan tercepat sebesar 0,646 gram/menit sehingga terjadi penurunan 8,51%. Dengan penambahan konsentrasi serat atau bertambahnya fraksi volume serat dapat menghambat laju pembakaran linear serta laju kehilangan beratnya yang berarti semakin banyak serat dalam komposit maka semakin baik pula ketahanan komposit terhadap api.

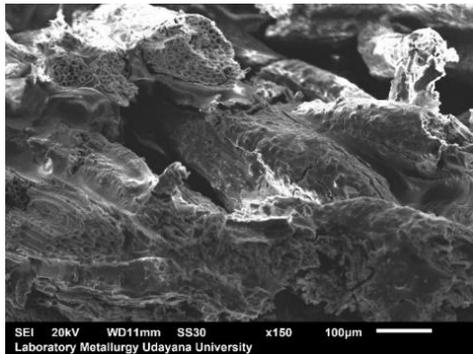
Gambar 6. menunjukkan persentase kehilangan berat yaitu persentase selisih berat awal dan berat akhir sesuai persamaan (3), grafik menunjukkan hal yang sama pula seperti pada laju pembakaran linear dan laju kehilangan berat dimana komposit dengan variasi fraksi volume 35% memperoleh persentase kehilangan berat terendah yaitu 64,40% dan komposit dengan persentase kehilangan berat tertinggi terdapat pada fraksi volume 25% yaitu sebesar 70,50%.

4.2 Hasil Pengujian SEM Biokomposit



Gambar 7. Foto SEM Hasil Uji Ketahanan Api Spesimen Fraksi Volume 25% Perbesaran 150x

Gambar 7. menunjukkan spesimen dengan fraksi volume 25% ikatan antar serat tidak terjalin dengan baik dan terlihatnya jarak antar serat yang lebar. Matriks masih dapat terlihat dikarenakan sedikitnya konsentrasi serat maka matriks dan serat terbakar dengan waktu yang bersamaan, berbeda halnya dengan serat pada fraksi volume 35% seperti pada gambar 8. Menunjukkan bahwa matriks terbakar lebih dahulu dan ikatan antar serat terjalin lebih baik dikarenakan penambahan konsentrasi serat.



Yoseph Christian Armando
menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana, Program Studi Teknik Mesin pada tahun 2021. Bidang Penelitian yang menjadi konsentrasi adalah pembahasan mengenai rekayasa manufaktur

Gambar 8. Foto SEM Hasil Uji Ketahanan Api Spesimen Fraksi Volume 35% Perbesaran 150x

5. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah , pada penelitian uji ketahanan api komposit hibrid polypropylene dengan penguat serat lidah mertua dan sabut kelapa, spesimen dengan variasi fraksi volume 35% dengan perlakuan NaOH serta AF21 mendapatkan hasil laju pembakaran linear serta laju kehilangan berat terendah yaitu 8.81mm/menit dan 0.498gram/menit, Dengan demikian terjadi penurunan laju pembakaran linear dan laju kehilangan berat secara berturut - turut sebesar 54.93% dan 37.12%. Maka dapat disimpulkan bahwa AF21 sebagai fire retardant berfungsi sebagaimana mestinya dan juga semakin banyak konsentrasi serat dalam komposit mampu menghambat rambat api.

Daftar Pustaka

- [1] Rodiawan. Suherman. F. Rosa, 2017, *Analisa Sifat-Sifat Serat Alam Sebagai Penguat Komposit Ditinjau Dari Kekuatan Mekanik*, Jurnal Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Metro, Vol.5 No. , pp. 39-43.
- [2] Leiwakabessy. A.Y. A. Purnowidodo. Sugiarto. R. Soenoko, 2013, *Perubahan Sifat Mekanis Komposit Hibrid Polyester yang Diperkuat Serat Sabut Kelapa dan Serat Ampas Empulur Sagu*. Jurnal Pengabdian Masyarakat. Fakultas Teknik Universitas Pattimura Ambon
- [3] Rwawiire. S. B. Tomkova, 2015, *Morphological, Thermal, and Mechanical Characterization of Sansevieria trifasciata Fibers*, Journal of Natural Fibers, Vol. 12, pp. 201–210.

Analisis Pengaruh Diameter Lubang Katup Limbah Pompa Hidram Terhadap Gerakan Katup Limbah Dan Gaya Impuls

Dedy Rony Putra Nadapdap, Made Suarda, Made Sucipta
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Laju aliran dan gaya tekan ataupun momentum yang terjadi pada badan pompa mempengaruhi pergerakan katup limbah, dimana laju aliran dan gaya tekan yang terjadi pada katup limbah mempengaruhi aliran pada pipa penghantar. Salah satu parameter yang mempengaruhi debit pemompaan ialah perubahan diameter lubang katup limbah. Semakin besar debit aliran air limbah melalui katup limbah maka semakin besar perubahan kecepatan aliran yang terjadi sehingga mengakibatkan perubahan momentum dan frekuensi gerakan pada katup limbah yang terjadi. Sehingga dilakukan penelitian untuk mengetahui perubahan momentum dan frekuensi gerakan katup limbah dengan variasi lubang diameter katup limbah 26 mm, 31 mm, 36 mm, 41 mm dan 46 mm, dengan head pemompaan (Pd) 0,5, 1,0, 1,5, 2,0. Penelitian ini menggunakan menggunakan pipa dengan material galvanis yang ditambah dengan perangkat orifice flowmeter pada sambungan pipa antara pipa penggerak dan badan pompa untuk memudahkan dalam pengambilan data laju aliran. Dimana dari data laju aliran yang didapat dari alat bantu ukur tersebut dapat membantu perhitungan dari perubahan momentum katup limbah. Digunakan juga kamera untuk merekam posisi gerakan katup limbah dalam mode slow motion untuk mengetahui waktu dari langkah-langkah kerja pompa hidram dalam satu siklus. Hasil dari penelitian menyatakan bahwa dengan lubang diameter katup limbah terbesar, maka akan menimbulkan momentum yang besar pula terhadap gerakan katup limbah. Didapatkan dengan variasi lubang diameter katup limbah 46 mm dan head pemompaan (Pd) 0,5 memiliki momentum terbesar, dan momentum terkecil dengan menggunakan variasi lubang diameter katup limbah 31 mm dengan head pemompaan (Pd) 0,5. Hasil momentum yang besar akan mendapatkan debit pemompaan yang besar yang diikuti dengan frekuensi gerakan katup limbah yang lebih lambat.

Kata kunci : pompa hidram; katup limbah; perubahan momentum; frekuensi gerakan katup limbah

Abstract

The flow rate and the compressive force or momentum that occurs in the pump body affect the movement of the waste valve, where the flow rate and the compressive force that occurs on the waste valve affects the flow in the conveying pipe. One of the parameters that affects the pumping rate is the change in the diameter of the waste valve. The greater the flow rate of wastewater through the waste valve, the greater the change in flow velocity that occurs, resulting in changes in momentum and frequency of movement of the waste valve. So a research was conducted to determine changes in the momentum and frequency of the waste valve movement with variations in the hole diameter of the waste valve 26 mm, 31 mm, 36 mm, 41 mm and 46 mm with pumping head (Pd) 0.5, 1.0, 1.5, 2.0. This study uses a pipe with galvanized material coupled with an orifice flowmeter on the pipe connection between the drive pipe and the pump body to make it easier to collect flow rate data. Where the flow rate data obtained from the measuring aid can help the calculation of the change in the momentum of the waste valve. A camera is also used to record the position of the sewage valve movement in slow motion mode to determine the time of the hydram pump's working steps in one cycle. The results of the research show that with the largest diameter of the waste valve, it will also generate a large amount of momentum to the waste valve movement. Obtained by varying the hole diameter of the waste valve 46 mm and the pumping head (Pd) 0.5 has the greatest momentum, and the smallest momentum by using a variation of the hole diameter of the waste valve 31 mm with a pumping head (Pd) 0.5. The resulting large momentum will result in a large pumping rate followed by a slower movement frequency of the waste valve.

Key words: hydram pump; sewage valve; change in momentum; the frequency of movement of the waste valve

1. Pendahuluan

Pompa hidraulik ram atau hidram adalah pompa air yang digerakkan oleh air dengan perbedaan ketinggian atau memanfaatkan proses palu air yang terjadi dikarenakan adanya energi potensial dari kemiringan tertentu menjadi energi kinetik, untuk memompa sebagian air yang mengalir ke tempat yang lebih tinggi [1]. Dalam pompa hidram terdapat katup yang bergerak, yaitu katup pengantar dan katup limbah. Katup pengantar merupakan katup untuk menghantarkan air menuju tabung udara sehingga selanjutnya dihantarkan menuju tangki penampungan. Katup limbah merupakan katup yang

berfungsi untuk membangkitkan fenomena palu air atau peningkatan tekanan sebagai pemicu energi penggerak pompa hidram. Laju aliran dan gaya tekan ataupun momentum yang terjadi pada badan pompa mempengaruhi pergerakan katup limbah, dimana laju aliran dan gaya tekan yang terjadi pada katup limbah mempengaruhi aliran pada pipa penghantar. Katup limbah sendiri berfungsi mengubah energi kinetik fluida kerja yang mengalir melalui pipa penggerak menjadi energi tekanan dinamis fluida yang akan menaikkan fluida kerja menuju tabung udara [2]. Salah satu parameter yang mempengaruhi debit

pemompaan ialah perubahan diameter lubang katup limbah.

Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh diameter lubang katup limbah terhadap momentum pada aliran dalam badan pompa dan debit pemompaan yang terjadi pada pompa hidram.

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut, fluida yang digunakan adalah air, sifat fluida pada saat pengambilan data diasumsikan tetap, kondisi lingkungan pada saat pencatatan data diasumsikan dalam keadaan tetap.

2. Dasar Teori

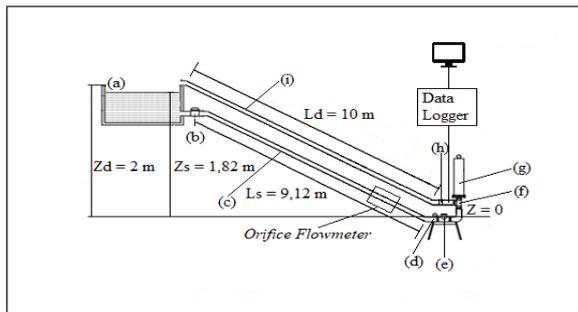
Kata pompa hidram terdiri atas dua kata penyusun yaitu hydraulic dan ram yang berarti hantaman, pukulan atau tumbukan air. Palu air yang terjadi pada aliran fluida di dalam pipa menimbulkan gaya tumbukan, yang mana persamaannya dapat diekspresikan sebagai berikut:

$$F = m \times a \quad (1)$$

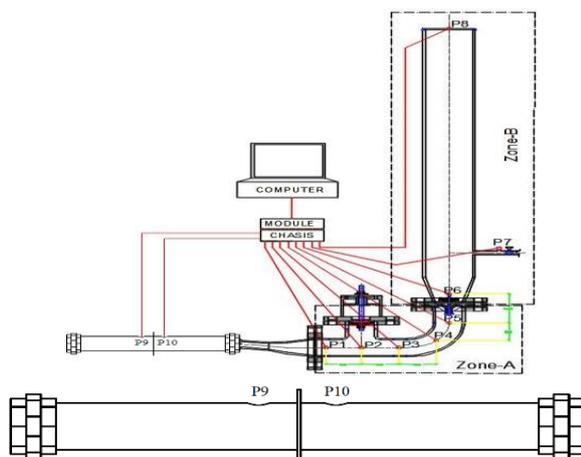
$$F = m \times a = m \times \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (2)$$

Dimana: F = Gaya tumbukan (N)
 m = Massa air (m^3)
 a = Percepatan (m/s^2)

3. Metodologi



Gambar 1. Skema Pompa Hidram

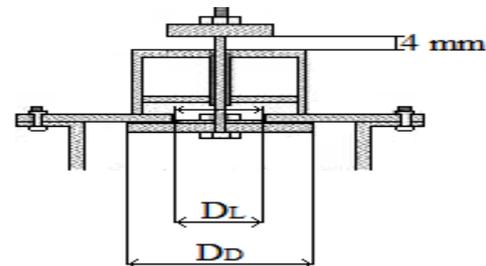


Gambar 2. Posisi Pemasangan Sensor Pressure Transducer

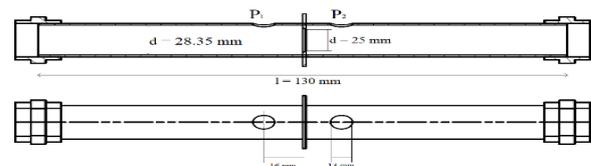
Skema perencanaan penelitian yang akan diteliti pada sistem unit pompa hidram secara garis besar terdapat seperti Gambar 3 terdiri dari supply tank, unit pompa hidram, dan system pipa penggerak/transmisi air hasil pemompaan. (a), katup pengatur debit suplai air (b), dan pipa penggerak (c). Komponen unit pompa hidram terdiri dari badan pompa hidram (d), katup limbah (e), katup tekan (f), dan tabung udara (g). Sistem penyalur terdiri dari katup pengatur head tekanan pemompaan (h) yang dilengkapi dengan pengukur tekanan atau manometer, pipa transmisi/penyalur (i), dan reservoir. Dimana pada ujung hilir dari pipa penggerak di pasang alat bantu ukur berupa orifice flowmeter.



Gambar 3. Variasi diameter lubang katup limbah 26 mm, 31 mm, 36 mm, 41 mm, dan 46 mm



Gambar 4. Variasi disk katup limbah dan stroke katup limbah



Gambar 5. Orifice meter

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Hasil Visualisasi

4.1.1. Posisi katup limbah siklus akselerasi

Gambar 6 merupakan merupakan tahap akselerasi di mana aliran yang memiliki kecepatan dari ketinggian sumber air menuju badan pompa, di mana pada saat ini katup limbah masih dalam keadaan terbuka.



Gambar 6. Hasil visualisasi gerakan katup limbah tahap akselerasi

4.1.2. Posisi katup limbah siklus kompresi



Gambar 7. Hasil visualisasi gerakan katup limbah tahap kompresi

Gambar 7 merupakan tahapan kompresi di mana aliran air yang mengalir dengan kecepatan yang tinggi dari sumber air sudah memasuki badan pompa dan mulai memenuhi badan pompa sehingga mulai mendorong katup limbah untuk tertutup, di mana pada tahap kompresi ini terjadi peristiwa water hammer.

4.1.3. Posisi katup limbah siklus *delivery*



Gambar 8. Hasil visualisasi gerakan katup limbah tahap *delivery*

Pada Gambar 8 merupakan tahapan *delivery*, di mana aliran air yang mengalir telah memenuhi badan pompa dan dapat di lihat posisi katup limbah telah

tertutup penuh sehingga aliran air telah mendorong katup pengantar terbuka dan menuju pipa pemompaan

4.1.4. Posisi katup limbah siklus rekoil



Gambar 9. Hasil visualisasi gerakan katup limbah tahap rekoil

Gambar 9 merupakan merupakan tahapan rekoil, aliran telah berhenti keluar dari pipa pemompaan, dan beberapa aliran kembali menuju pipa penggerak, sehingga katup limbah terbuka kembali di mana terjadi pengurangan tekanan dalam badan pompa.

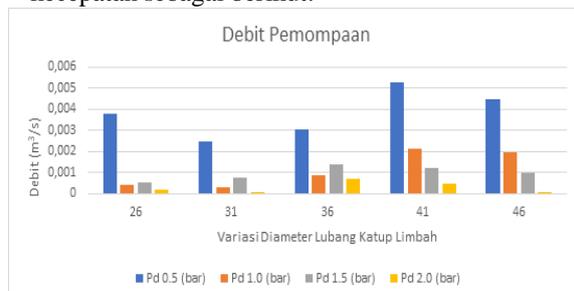
4.2. Frekuensi Gerakan Katup Limbah

Data tabel didapatkan dari perhitungan yang dilakukan lebih dari dua kali dengan menggunakan timer stopwatch dalam waktu 1 menit.

Tabel 1. Frekuensi Gerakan Katup Limbah

Variasi	Head Pemompaan (Pd)	Frekuensi gerakan katup limbah (menit)								Rata-rata
26	0.5	93	89	90	89	93	93	90	93	91,35
	1.0	125	125	127	127	125	125	127	127	128,11
	1.5	93	94	93	93	93	93	92	93	92,87
	2.0	83	82	82	82	83	83	83	83	82,62
31	0.5	120	119	120	118	120	120	119	118	119,25
	1.0	134	130	134	134	133	130	133	132	132,5
	1.5	95	95	95	95	94	93	96	94	94,625
	2.0	87	87	86	86	87	87	85	87	86,5
36	0.5	72	72	72	72	72	73	72	72	72,125
	1.0	78	77	77	78	78	78	79	78	77,87
	1.5	79	78	79	80	81	78	78	81	80,125
	2.0	74	75	74	74	75	75	74	74	74,375
41	0.5	74	74	74	76	70	70	74	76	82,5
	1.0	89	89	89	87	86	89	85	88	87,7
	1.5	98	98	99	96	92	98	99	98	97,25
	2.0	95	94	94	94	95	95	96	92	94,37
46	0.5	97	93	97	96	97	98	98	98	96,7
	1.0	89	89	88	88	89	87	85	86	87,12
	1.5	87	87	86	84	87	877	84	84	85,75
	2.0	82	82	82	81	82	80	81	83	81,625

Berdasarkan dari Tabel 1 didapatkan grafik kecepatan sebagai berikut:

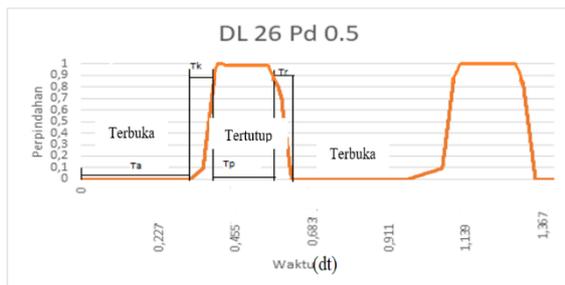


Gambar 10 Grafik frekuensi gerakan katup limbah berdasarkan perubahan diameter lubang katup limbah

Berdasarkan data yang di dapat pada saat perhitungan frekuensi gerakan katup limbah dan di olah ke dalam bentuk grafik, bahwa dapat dilihat pengaruh dari perubahan lubang diameter katup limbah, semakin besar diameter dari lubang katup limbah maka frekuensi yang dihasilkan dari pergerakan katup limbah akan semakin kecil. Hal ini menyatakan bahwa semakin kecil frekuensi pergerakan katup limbah maka debit pemompaan yang dihasilkan akan besar.

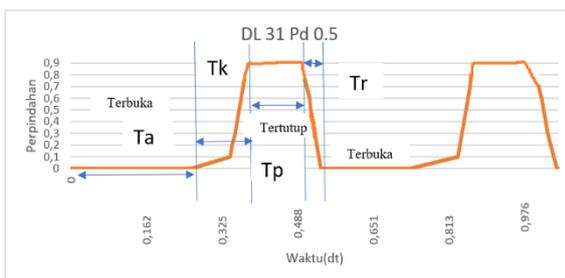
4.3. Siklus kerja katup

Berdasarkan kamera dengan teknologi slow motion berkecepatan tinggi dengan 960 fps (frame per second) yang diubah menjadi dalam bentuk frame per second dalam setiap perubahan variasi diameter lubang katup limbah 46 mm, 41 mm, 36 mm, 31 mm, dan 26 mm didapatkan grafik perpindahan terhadap waktu sebagai berikut.



Gambar 11. Detail siklus kerja katup variasi 26 mm (Pd) 0,5

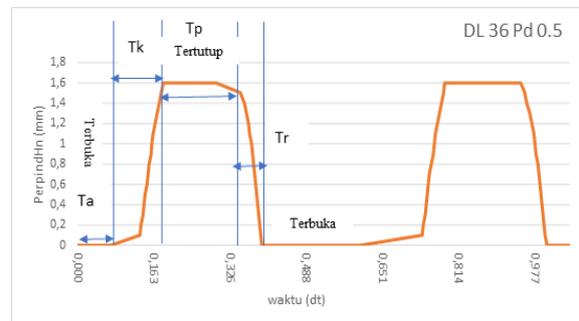
Berdasarkan gambar 11 di atas dalam satu siklus kerja katup limbah pada diameter lubang katup limbah 26 mm, dan dengan mengatur head pemompaan (Pd) 0,5 adalah, tahap akselerasi (Ta) berlangsung selama 0,32 detik, tahap kompresi (Tk) berlangsung selama 0,07 detik, tahap pemompaan (Tp) 0,15 detik dan tahap recoil (Tr) berlangsung selama 0,06 detik. Didapatkan persentase tiap siklus sebagai berikut, tahap akselerasi sebesar 51,63%, tahap kompresi sebesar 11,32%, tahap pemompaan sebesar 24,19%, tahap recoil sebesar 9,67%.



Gambar 12. Detail siklus kerja katup variasi 31 mm (Pd) 0,5

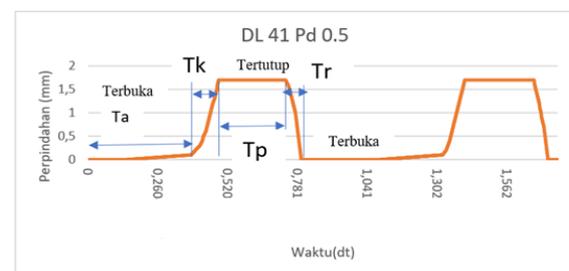
Berdasarkan data di atas dalam satu siklus kerja katup limbah pada diameter lubang katup limbah 31 mm, dan dengan mengatur head pemompaan (Pd) 0,5 adalah, tahap akselerasi (Ta) berlangsung selama 0,26 detik, tahap kompresi (Tk) berlangsung selama 0,11 detik, tahap pemompaan (Tp) 0,12 detik dan

tahap recoil (Tr) berlangsung selama 0,04 detik. Didapatkan persentase tiap siklus sebagai berikut, tahap akselerasi sebesar 48,15%, tahap kompresi sebesar 20,40%, tahap pemompaan sebesar 22,22%, tahap recoil sebesar 7,40%.



Gambar 13. Detail siklus kerja katup variasi 36 mm (Pd) 0,5

Berdasarkan data di atas dalam satu siklus kerja katup limbah pada diameter lubang katup limbah 36 mm, dan dengan mengatur head pemompaan (Pd) 0,5 adalah, tahap akselerasi (Ta) berlangsung selama 0,06 detik, tahap kompresi (Tk) berlangsung selama 0,12 detik, tahap pemompaan (Tp) 0,11 detik dan tahap recoil (Tr) berlangsung selama 0,10 detik. Didapatkan persentase tiap siklus sebagai berikut, tahap akselerasi sebesar 15,38%, tahap kompresi sebesar 30,77%, tahap pemompaan sebesar 28,20%, tahap recoil sebesar 25,64%.

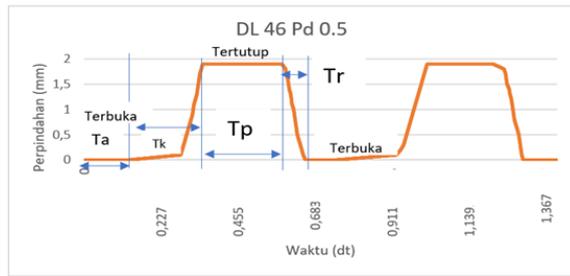


Gambar 14. Detail siklus kerja katup variasi 41 mm (Pd) 0,5

Berdasarkan data di atas dalam satu siklus kerja katup limbah pada diameter lubang katup limbah 41 mm, dan dengan mengatur head pemompaan (Pd) 0,5 adalah, tahap akselerasi (Ta) berlangsung selama 0,14 detik, tahap kompresi (Tk) berlangsung selama 0,34 detik, tahap pemompaan (Tp) 0,24 detik dan tahap recoil (Tr) berlangsung selama 0,05 detik. Didapatkan persentase tiap siklus sebagai berikut, tahap akselerasi sebesar 18,31%, tahap kompresi sebesar 42,89%, tahap pemompaan sebesar 31,40%, tahap recoil sebesar 7,39%.

Berdasarkan data di atas dalam satu siklus kerja katup limbah pada diameter lubang katup limbah 46 mm, dan dengan mengatur head pemompaan (Pd) 0,5 adalah, tahap akselerasi (Ta) berlangsung selama 0,13 detik, tahap kompresi (Tk) berlangsung selama 0,22 detik, tahap pemompaan (Tp) 0,23 detik dan tahap recoil (Tr) berlangsung selama 0,07 detik. Didapatkan persentase tiap siklus sebagai berikut,

tahap akselerasi sebesar 20,03%, tahap kompresi sebesar 33,84%, tahap pemompaan sebesar 35,38%, tahap recoil sebesar 10,76%.

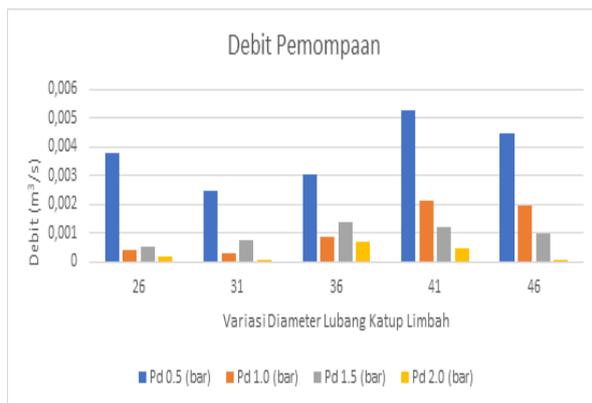


Gambar 15. Detail siklus kerja katup variasi 46 mm (Pd) 0,5

4.5. unjuk kerja pompa hidram

4.5.1 Debit Pemompaan

Di peroleh data debit pemompaan dengan menggunakan alat ukur berupa flowmeter yang terdapat pada pipa pemompaan yang diambil berdasarkan pergerakan flowmeter per menit. Dapat dilihat hasil dari grafik di bawah ini.



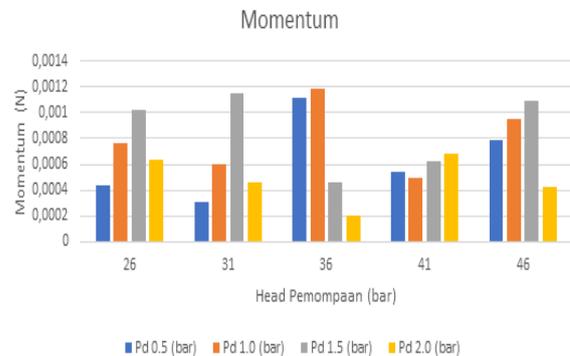
Gambar 16. Grafik debit pemompaan berdasarkan perubahan diameter lubang katup limbah

Berdasarkan data di atas dapat dilihat pengaruh dari perubahan diameter lubang katup limbah terhadap debit pemompaan yang dihasilkan, diameter lubang katup limbah yang besar akan menghasilkan debit pemompaan yang besar.

4.5.2 Momentum Gerakan Katup Limbah

Berdasarkan data kecepatan yang di peroleh dengan menggunakan perekaman video dengan teknologi kamera mode slow motion (960 fps) didapatkan kecepatan gerakan pada katup limbah, dapat dilakukan perhitungan momentum terhadap gerakan katup limbah dengan menggunakan persamaan $M = m \times v$. Dapat dilihat dari perubahan diameter lubang katup limbah terhadap momentum yang disebabkan oleh aliran terhadap gerakan katup limbah, dapat disimpulkan bahwa dengan diameter lubang katup limbah yang lebih besar, akan menimbulkan

momentum yang lebih besar. Dimana momentum terbesar terdapat pada diameter lubang katup limbah yang terbesar yaitu 46 mm dengan head pemompaan (Pd) 0,5.

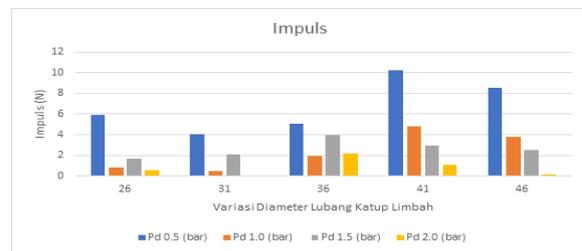


Gambar 17. Grafik momentum katup limbah berdasarkan perubahan diameter lubang katup limbah

4.5.3 Gaya Impuls pada Gerakan Katup Limbah

Berdasarkan data kecepatan yang di peroleh dengan menggunakan alat ukur berupa orifice flowmeter, dapat dilakukan perhitungan momentum terhadap gerakan katup limbah

dengan menggunakan persamaan $F = m \times a = m \times \Delta v / \Delta t$



Gambar 18. Grafik gaya impuls katup limbah berdasarkan perubahan diameter lubang katup limbah

5. Kesimpulan

1) Didapatkan momentum gerakan katup limbah terbesar dengan head pemompaan (pd) 0,5 pada variasi diameter lubang katup limbah 36 mm, dan momentum gerakan katup yang terkecil terdapat pada variasi diameter lubang katup limbah 31 mm.

2) Didapatkan dengan head pemompaan (pd) 0,5, gaya impuls terbesar terdapat pada variasi diameter lubang katup limbah 41 mm dan yang terkecil terdapat pada variasi diameter lubang katup limbah 31 mm. Dimana dengan gaya impuls terbesar pada head pemompaan (Pd) 0,5 dengan variasi diameter lubang katup limbah 41 mm, menimbulkan debit pemompaan yang lebih besar, begitu juga sebaliknya pada variasi diameter lubang katup limbah 31 mm dengan head pemompaan (pd) 0,5 memiliki debit pemompaan yang kecil

Dengan gaya impuls yang besar akan mendapatkan debit pemompaan yang besar yang diikuti dengan frekuensi gerakan katup limbah yang lambat dibandingkan dengan debit pemompaan yang terkecil dengan frekuensi gerakan katup lebih cepat.

Daftar Pustaka

- [1] Laksana, K. B., Suarda, M., dan Ghurri, A. (2019). *Pengaruh Diameter Piringan Katup Limbah Terhadap Tekanan Aliran Balik Dalam Pompa Hidram*, Jurnal Mettek: Jurnal Ilmiah Nasional dalam Bidang Ilmu Teknik Mesin, 5(2), 98-104.
- [2] Siahaan, P. (2013). *Rancang Bangun dan Uji Eksperimental Pengaruh Variasi Panjang Driven Pipe dan Diameter Air Chamber Terhadap Efisiensi Pompa Hidram*, Jurnal Dinamis, (12).
- [3] Mohammed, S. N. (2007). *Design dan Construction of a Hydraulic Ram Pump*, Leonardo Electronic Journal of Practices dan Technologies, 11, 59–70.
- [4] San, G. S., dan Santoso, G. (2002). *Studi Karakteristik Volume Tabung Udara dan Beban Katup Limbah Terhadap Efisiensi Pompa Hidraulik Ram*, Jurnal Teknik Mesin, 4(2), 81-8.
- [5] Santoso, E., Utomo, gatot priyo dan Martini, N. (2016). *Analisa Pengaruh Panjang Pipa Inlet Dan Panjang Pegas Katub Buang Terhadap Performance Pompa Hidram*, JHP17: Jurnal Hasil Penelitian, 1(01).

	<p>Dedy Rony Putra Nadapdap menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana, pada tahun 2021 dengan mengambil program studi Teknik Mesin pada tahun 2016.</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan pompa hidram.</p>	

Pengaruh Variasi Fraksi Volume Terhadap Kekuatan *Bending* Komposit *Hybrid Polypropylene* Daur Ulang Berpenguat Serat Lidah Mertua Dan Sabut Kelapa

Steven Don Paul, Ngakan Putu Gede Suardana, IP Lokantara
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Plastik memiliki banyak keuntungan dibandingkan material lain. Mudah diproses, dan murah merupakan sifat plastik yang unggul dari material lain. Namun, salah satu sifat plastik yang merugikan adalah sulitnya plastik terurai. Hal ini membuat plastik menjadi sampah yang sering ditemukan dan menimbulkan banyak masalah terhadap alam. Salah satu upaya pemecahan permasalahan ini adalah memanfaatkan plastik sebagai bahan komposit ramah lingkungan dengan penguat dari serat tanaman. Dengan begitu, material komposit dapat terurai bila tidak digunakan dan tidak mencemari lingkungan. Serat tanaman yang dapat digunakan sebagai penguat komposit adalah sabut kelapa dan lidah mertua. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh fraksi volume dan perlakuan alkali serat sabut kelapa dan serat lidah mertua terhadap kekuatan *bending* material komposit. Variasi Fraksi volume yang digunakan adalah 25%, 30%, dan 35%. Pengujian yang dilakukan adalah uji *bending* dan uji SEM. Hasil Uji *bending* menunjukkan bahwa komposit *hybrid* menunjukkan bahwa penambahan fraksi volume meningkatkan sifat *bending* dari material komposit sebesar 37,76%. Uji SEM menunjukkan ikatan homogen antara serat dengan matriks.

Kata kunci: fraksi volume, perlakuan alkali, *bending*, komposit, komposit *hybrid*, polypropylene, serat, lidah mertua, sabut kelapa.

Abstract

Plastic has more advantages over other materials. Easy to process and cheap are properties that superior. However, one of the detrimental properties of plastics is that it's difficult to break down. This makes plastic a common waste and creates many problems for nature. One of solutions to this problem is to use plastic as an environmentally friendly composite material with reinforcement from plant fibers. That way, composite materials can be harvested naturally. Plant fibers that can be used as composite reinforcement are coir and tongue-in-law (*Sansevieria trifasciata*). This study aims to determine the effect of volume fraction and alkaline treatment of coir fiber and tongue-in-law fibers on the bending strength of the composite material. The variations in the volume fraction used were 25%, 30%, and 35%. The tests carried out are the bending test and SEM test. The results of the bending test showed that the addition of volume fraction of plant fibers increased the bending properties of the composite material by 37,76%. SEM test shows homogenous bond between the fibers and the matrix.

Keywords: volume fraction, alkaline treatment, bending, composite, composite hybrid, polypropylene, fiber, *Sansevieria trifasciata*, coir fiber

1. Pendahuluan

Sejak penemuannya, plastik menjadi bagian dari kehidupan manusia. Ringan, tahan air, mudah diproses, dan murah. Sifat-sifat plastik tersebut membuatnya menjadi material yang digunakan hampir diseluruh aspek; wadah konsumsi, otomotif, alat tulis, furnitur, dan lain sebagainya, sudah tidak asing lagi dengan material ini. Namun, salah satu sifat plastik yang merugikan adalah sulitnya plastik terurai. Hal ini membuat plastik menjadi sampah yang sering ditemukan dan menimbulkan banyak masalah terhadap alam.

Sampah merupakan salah satu masalah utama didunia. Dengan bertambahnya populasi masyarakat setiap hari membuat meningkatnya pembuangan

sampah. Banyak upaya yang telah dilakukan untuk mengurangi sampah; daur ulang, pendidikan tentang bahaya dan pengolahan sampah, peraturan-peraturan menyangkut pembuangan sampah dan lain sebagainya. Akan tetapi, masih banyak sampah yang terbuang sembarangan dan sampah yang terbuang tidak dapat terurai dengan cepat.

Berdasarkan Data Sampah Yang Masuk ke TPA Sarbagita dari Dinas Lingkungan Hidup Pemerintah Provinsi Bali [1], sampah plastik mengalami kenaikan setiap tahun dari 2016 hingga tahun 2019, dari 720.000 m³ (2016) hingga 800.000 m³. Kabupaten yang menghasilkan sampah plastik terbanyak adalah Kota Denpasar dengan jumlah sampah sebesar 121,7 ton setiap harinya [2].

Salah satu upaya mengurangi sampah saat ini adalah memanfaatkan sampah plastik sebagai bahan material komposit dengan penguat serat alam. Beberapa

penelitian telah dilakukan, seperti penelitian yang dilakukan oleh Srebrenkoska et al., [3] menemukan bahwa komposit serat kenaf dan komposit serat sekam padi bermatriks polypropylene daur ulang mempunyai sifat kekuatan flexural dan stabilitas thermal yang mirip dengan komposit serat yang sama dengan susunan rapi.

Pemanfaatan serat tanaman sebagai bahan komposit polypropylene merupakan upaya membuat material pembaruan. Salah satu serat tanaman yang dapat dimanfaatkan adalah serat tanaman lidah mertua. Rwawiire & Tomkova [4] menemukan bahwa serat lidah mertua memiliki susunan serat yang sulit mengalami pemanjangan. Selain itu, serat lidah mertua stabil pada suhu 200°C, sehingga cocok digunakan sebagai bahan penguat material komposit.

Sabut kelapa juga mempunyai potensi sebagai penguat komposit. Dengan melimpahnya sabut kelapa di Indonesia membuat sabut kelapa menjadi bahan alternatif yang murah dan mudah ditemukan. Bettini, dkk., [5] menemukan bahwa komposit sabut kelapa dengan perlakuan grinding dengan panjang kurang dari 1 mm dan matriks polypropylene mempunyai kekuatan tensile maksimum sebesar 43.14 MPa dan kekuatan impact sebesar 25.8 J/m. Ini menunjukkan bahwa adanya sabut kelapa sebagai penguat komposit polypropylene menaikkan kekuatan tensile dan mengurangi kekuatan impact dari komposit.

Penelitian tidak hanya menggabungkan polypropylene dengan satu jenis serat tanaman saja. Penelitian yang dilakukan oleh Siddika, Mansura and Hasan, [6] tentang komposit hybrid polypropylene dengan penguat rami dan sabut kelapa menemukan bahwa komposit ini memiliki peningkatan sifat mekanik seiring meningkatnya pemakaian serat dalam material komposit.

Dengan latar belakang di atas, masih kurangnya penelitian akan kekuatan bending terhadap komposit lidah mertua, khususnya komposit hybrid antara lidah mertua dengan sabut kelapa. Sejak keduanya mudah ditemukan dan dari penelitian komposit hybrid yang sudah dilakukan, komposit hybrid sabut kelapa dengan serat lidah mertua dapat menjadi material baru yang memiliki potensi sebagai material komposit yang efisien dengan sifat bending yang baik.

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh variasi fraksi volume dan perlakuan alkali serat terhadap kekuatan bending komposit polypropylene daur ulang berpenguat lidah mertua dan sabut kelapa. Untuk mendapatkan hasil yang diinginkan dari luasnya permasalahan perlu dilakukan pembatasan yaitu sebagai berikut :

1. Bahan untuk matriks adalah plastik polypropylene yang diperoleh dari kemasan air mineral bekas berukuran 220 ml dari satu merek terkenal.
2. Serat lidah mertua digunakan dari tanaman lidah mertua yang tumbuh di daerah Denpasar-Bali dan umur tanaman diasumsikan sama.
3. Sabut kelapa yang digunakan berasal dari daerah Jombang- Jawa Timur dan umur sabut yang diasumsikan sama.

2. Dasar Teori

2.1 Komposit

Komposit merupakan material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material pembentuknya melalui campuran yang tak homogen, dimana sifat mekanik dari masing-masing material pembentuknya berbeda [7]. Material ini biasanya memiliki sifat yang lebih baik dibandingkan material logam.

Komposit bisa diklasifikasikan dari bahan dasarnya (matriks) dan bahan penguatnya. Berdasarkan matriksnya, komposit dibagi menjadi 3 jenis, yaitu *polymer matrix composite* (PMC) yaitu komposit memakai material polimer sebagai matriksnya, *Metal Matrix Composite* (MMC) yaitu komposit dengan bahan logam sebagai matriksnya dan *Ceramic Matrix Composite* (CMC) yang menggunakan bahan keramik sebagai matriks [8].

2.1.1 Komposit Hybrid

Komposit hybrid adalah komposit dimana dalam satu jenis matriks terdapat dua atau lebih jenis material penguat. Tujuan dari penambahan bahan penguat adalah untuk meningkatkan kekuatan fisik dari material komposit tersebut.

Penelitian yang dilakukan oleh Jagadish et al., [9] menemukan bahwa Komposit dengan fraksi volume 24% fiber campuran (serat sisal, rami, jute dan serat pohon pisang) memiliki sifat mekanikal lebih baik dibandingkan dengan komposit dengan satu jenis serat, kekuatan bending dari komposit hybrid ini 43,58% lebih besar dibandingkan komposit lidah mertua yang diteliti oleh Mahendra, dkk. [10].

2.2 Matriks

Matriks merupakan bahan dasar yang ingin digabungkan dalam suatu material komposit. Biasanya matriks merupakan bahan yang bersifat lunak pada fase cair dan bila dipanaskan akan mengeras, bersifat mengikat dan kaku sehingga berubah dari fase cair menjadi fase padat. Bahan-bahan matriks biasanya dari bahan polimer, logam dan keramik.

3. Metode Penelitian

3.1 Alat

1. Ember untuk tempat perendaman dan pembilasan serat lidah mertua.
2. Roll pin untuk pemukul awal daun sebelum direndam yang bertujuan untuk mempercepat proses pembusukan.
3. Sikat cuci untuk proses pengambilan serat.
4. Nampan dan kain untuk tempat pengeringan serat.
5. Toples untuk tempat penyimpanan serat.
6. Gunting untuk proses pemotongan serat dan botol plastik bekas.
7. Sarung tangan untuk keselamatan kerja saat proses pembuatan komposit.
8. Timbangan digital.
9. Picnometer untuk mencari massa jenis serat dan polypropylene
10. Alat pencatat waktu.
11. Kuas untuk proses melapisi cetakan dengan gliserin.
12. Mesin hot press untuk mencetak spesimen.
13. Kipas untuk mendinginkan cetakan beserta komposit.
14. Kapi untuk pengambilan komposit dari cetakan.
15. Mesin pemotong spesimen.
16. Amplas untuk menghaluskan permukaan spesimen yang diuji.
17. Jangka sorong untuk pengukuran spesimen agar lebih presisi.
18. Alat uji Tensilon RTG 1250

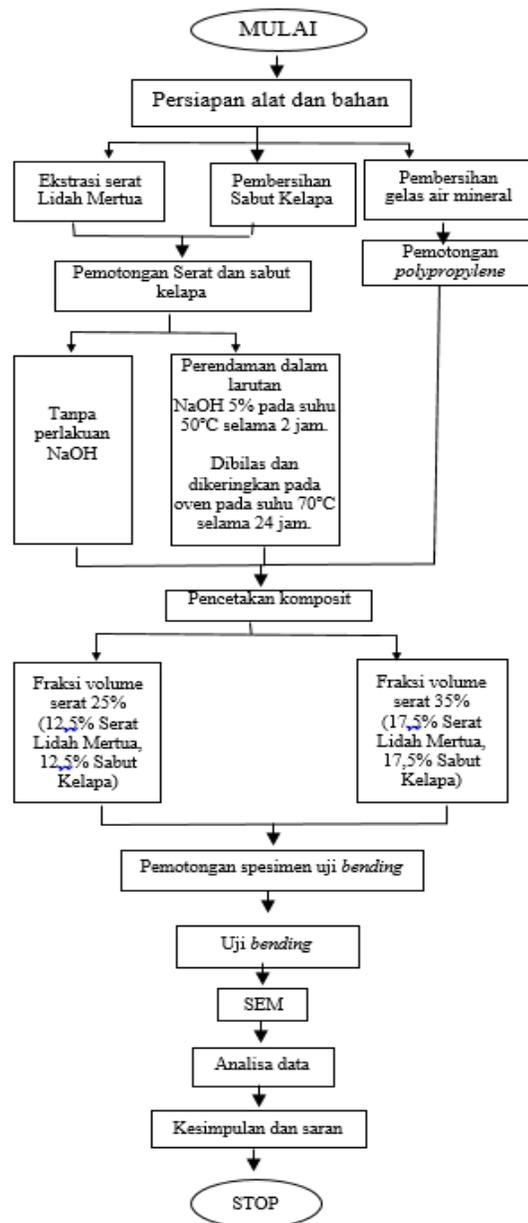
3.2 Bahan

1. Daun lidah mertua yang paling tua.
2. Sabut Kelapa yang sudah dikeringkan
3. Kemasan air mineral ukuran 220 ml berbahan PP (polypropylene).
4. NaOH untuk treatment serat lidah mertua.
5. Aluminium foil untuk pelapis pada cetakan agar komposit tidak menempel.



Gambar 1. (a) Sabut Kelapa, (b) Tanaman Lidah Mertua (*Sansevieria trispiciata*)

3.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Diagram alir penelitian

3.4 Metode Penelitian

Penekukkan atau *bending* adalah bentuk deformasi secara plastis dari material terhadap sumbu linier dengan hanya sedikit atau hampir tidak mengalami perubahan luas permukaan. Bending merupakan kombinasi dari beban tekan dengan beban tarik. Pengujian dilakukan 5 kali pengulangan pada setiap variasi.



Gambar 3. Alat Uji Tensilon RTG 1250

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Menghitung Massa Jenis Bahan

Komposit yang diuji dibagi dalam 3 fraksi bahan komposit, yaitu 25%, 30% dan 35% volume serat. Untuk mendapatkan fraksi volume tersebut, perlu dilakukan perhitungan massa jenis serat lidah mertua (*Sansevieria trifasciata*), sabut kelapa dan polypropylene agar mendapatkan volume yang dibutuhkan dari massa masing-masing bahan.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Massa Jenis Bahan

No	Data	Rata-Rata Massa Jenis (g/cm ³)
1	<i>Polypropylene</i>	0.878
2	Serat Lidah Mertua Tanpa Perlakuan	1.368
3	Serat Lidah Mertua dengan Perlakuan	1.461
4	Sabut Kelapa Tanpa Perlakuan	1.242
5	Sabut Kelapa dengan Perlakuan	1.746

Massa jenis diukur dengan menggunakan picnometer dengan pengulangan pengukuran sebanyak 6 kali pada masing-masing bahan yang nantinya akan dirata-ratakan untuk memperoleh hasil yang akurat. Pengukuran selanjutnya dihitung untuk mendapatkan massa jenis dengan persamaan berikut.

$$\rho = \frac{(m_2 - m_1)}{(m_3 - m_1) - (m_4 - m_1)} \times \rho_f \quad (1)$$

Keterangan:

ρ = Massa Jenis (g/cm³)

- m_1 = Massa picnometer (g)
- m_2 = Massa picnometer + serat (g)
- m_3 = Massa picnometer + aquades (g)
- m_4 = Massa picnometer + aquades + serat (g)
- ρ_f = Massa jenis aquades (g/cm³)



Gambar 4. Proses Pengukuran Massa Jenis

4.2 Perhitungan Volume Cetakan

$$\begin{aligned} \text{Volume Cetakan (Vc)} &= p \times l \times t \\ Vc &= 18 \text{ cm} \times 14.5 \text{ cm} \times 0.3 \text{ cm} \\ Vc &= 78.3 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

4.3 Perhitungan Volume Serat dan *Polypropylene*

A. Perhitungan Volume pada variasi 25% serat 75% *polypropylene*

$$\begin{aligned} V_{\text{serat}} &= 25\% \times 78.3 \text{ cm}^3 = 19.575 \text{ cm}^3 \\ V_{\text{polypropylene}} &= 75\% \times 78.3 \text{ cm}^3 = 58.81 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

B. Perhitungan Volume pada variasi 35% serat 65% *polypropylene*

$$\begin{aligned} V_{\text{serat}} &= 35\% \times 78.3 \text{ cm}^3 = 27.405 \text{ cm}^3 \\ V_{\text{polypropylene}} &= 65\% \times 78.3 \text{ cm}^3 = 50.895 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

4.4 Perhitungan Massa Bahan Tiap Variasi

Perhitungan Massa dapat dilakukan dengan rumus sebagai berikut

$$V = m/\rho \rightarrow m = V \times \rho \quad (2)$$

Keterangan:

V = Volume (cm³)

m = Massa (g)

ρ = Massa jenis (g/cm³)

Dengan rumus diatas, maka massa bahan tiap variasi dapat dicari. Hasil perhitungan massa pada tiap variasi sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Perhitungan Massa Bahan Tiap Variasi

Jenis Variasi	Massa Lidah Mertua (g)	Massa Sabut Kelapa (g)	Massa <i>polypropylene</i> (g)
25% Perlakuan NaOH	14,299	17,089	51,561
35% Perlakuan NaOH	20,02	23,925	44,686

4.5 Hasil Cetakan Komposit



Gambar 5. Komposit Hybrid Setelah Proses Cetakan

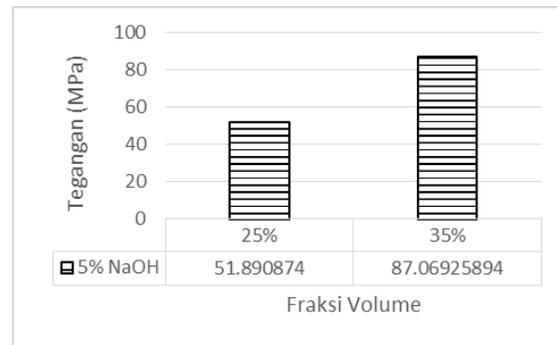
Dari pengamatan fisik dari cetakan setiap perlakuan, bisa dilihat adanya beberapa perbedaan, yaitu:

1. Adanya perbedaan warna dari komposit dapat ditimbulkan dari efek perlakuan NaOH pada sabut kelapa yang menyebabkan warna sabut kelapa gelap dari efek terbakarnya lignin pada sabut kelapa oleh NaOH dan juga ada kemungkinan dari kurangnya penyebaran polypropylene secara merata pada lapisan teratas
2. Ketidakrataan polypropylene lebih sering terjadi pada komposit dengan fraksi volume 35% serat karena volume polypropylene yang berkurang pada setiap lapisan sehingga adanya beberapa bagian permukaan yang tidak tertutup polypropylene dengan rata
3. Pada fraksi volume 25% dan 30%, permukaan komposit lebih konsisten terlapsi polypropylene secara merata dibandingkan komposit dengan fraksi volume 35% karena lebih banyaknya volume polypropylene pada setiap lapisan komposit pada fraksi volume 25% dan 30% dibandingkan pada komposit dengan fraksi volume 35%

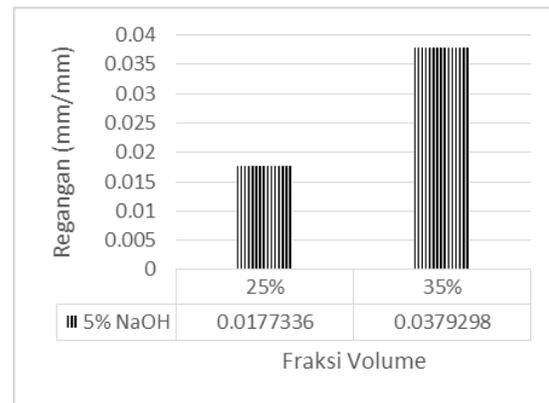
4.6 Data Hasil Pengujian Bending Komposit

Pengujian *bending* menggunakan 3 persamaan dari ASTM D790, yaitu tegangan bending, regangan bending dan modulus elastisitas. Hasil dari ketiga persamaan diatas ditampilkan dalam bentuk grafik sebagai berikut.

Grafik gambar 7 menunjukkan hasil rata-rata pengujian Tegangan *Bending* pada setiap variasi. Nilai Tegangan Tertin σ ada pada variasi fraksi volume 35% dan nilai terendah pada fraksi volume 25%. Hal ini menunjukkan adanya kenaikan nilai tegangan *bending* sebesar volume tertentu.

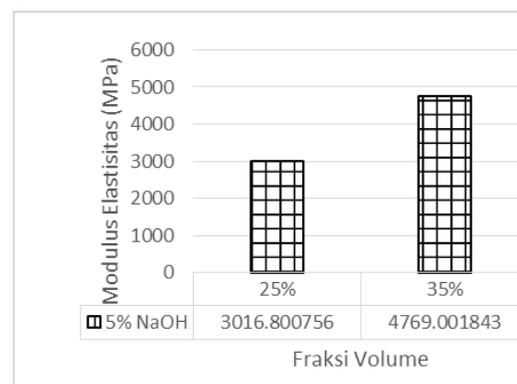


Gambar 7. Grafik Hasil Uji Tegangan Bending



Gambar 8. Grafik Hasil Uji Regangan Bending

Grafik gambar 8 merupakan hasil rata-rata regangan bending pada setiap variasi. Nilai regangan tertinggi pada 35% dan nilai terendah pada perlakuan 25%. Grafik nilai regangan naik seiring nilai fraksi volume, menunjukkan penambahan serat pada komposit menambah nilai regangan komposit sehingga komposit lebih ulet.

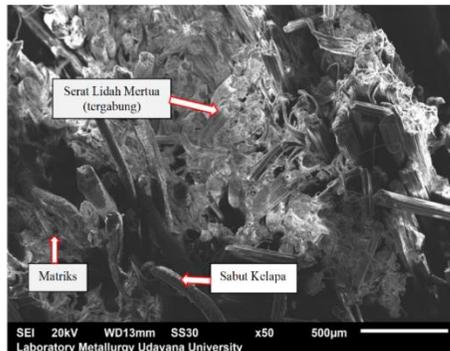


Gambar 9. Grafik Hasil Uji Modulus Elastisitas

Gambar 9 menunjukkan hasil perhitungan rata-rata Modulus Elastisitas komposit *hybrid*. Nilai tertinggi pada variasi fraksi volume 35%, sedangkan nilai terkecil pada fraksi volume 25%. Besarnya nilai Modulus Elastisitas bergantung terhadap besarnya tangen garis lurus pada grafik Load Deflection Curve

atau nilai m. Nilai m didapat dari grafik perbandingan gaya tekan yang diterima terhadap defleksi yang terjadi pada komposit. Pada Grafik NaOH adanya kenaikan seiring naiknya nilai fraksi volume, menunjukkan fraksi volume mempengaruhi besar Modulus Elastisitas komposit.

4.7 Uji SEM



Gambar 10. Hasil Uji SEM Variasi Fraksi Volume 35% Perlakuan NaOH

Gambar diatas adalah gambar hasil uji SEM pada variasi fraksi volume 35% dengan perlakuan NaOH. Pada gambar, tidak ditemukannya lubang *pullout*. Ini Menunjukkan bahwa penambahan NaOH mempererat ikatan serat dengan matriks lebih sempurna dengan mengurangi lapisan lignin, hemoglobin dan zat kotor lain pada permukaan serat alam sehingga tidak ada terjadinya *pullout*. Serat yang muncul pada gambar merupakan hasil potongan pada sampel yang tidak rata menyebabkan adanya serat yang keluar dari matriks.

5. Kesimpulan

Hasil pengujian bending menunjukkan bahwa komposit hybrid serat lidah mertua dengan sabut kelapa dengan variasi fraksi volume 35% mengalami kenaikan nilai tegangan, regangan dan nilai Modulus Elastisitas dibandingkan dengan variasi fraksi volume 25%. Dengan begitu, nilai *bending* sebuah komposit lebih besar pada fraksi volume 35% dibandingkan fraksi volume yang lebih kecil.

Daftar Pustaka

- [1] Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Bali, 2018, *Daftar Sampah Plastik Seluruh Kabupaten Bali 2016-2018*. Denpasar: Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Bali.
- [2] _____, 2019, *Data Sampah Yang Masuk Ke TPA Sarbagita Tahun 2016 s/d 2019*, Denpasar: Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Bali.
- [3] Srebrnkoska, V., Dimeski, D., & Gaceva, G. B., 2009, *Preparation and recycling of*

polymer eco-composites I. Comparison of the conventional molding techniques for preparation of polymer eco-composites. Macedonian Journal of Chemistry and Chemical Engineering, Vol,28 No.1, pp.99–109.

- [4] Rwwiire, S. and Tomkova, B. (2015) '*Morphological, Thermal, and Mechanical Characterization of Sansevieria trifasciata Fibers*', Journal of Natural Fibers. Taylor & Francis, Vol.12 No. 3, pp. 201–210.
- [5] Bettini, S.H.P., dkk.. 2010, *Investigation on the Use of Coir Fiber as Alternative Reinforcement in Polypropylene*, Journal of Applied Polymer Science. Vol. 118 No. , pp. 2841-2848.
- [6] Siddika, S., Mansura, F. and Hasan, M., 2013, *Physico-mechanical properties of jute-coir fiber reinforced hybrid polypropylene composites*, International Journal of Chemical, Materials Science and Engineering, Vol.7 No. 1, pp. 41–45.
- [7] Matthews, F.L., Rawlings, R. D, 1993, *Composite Materials: Engineering and Science*, Chapman & Hall, London.
- [8] Nayiroh, N., 2013, **Teknologi Material Komposit**, <http://nurun.lecturer.uin-malang.ac.id/wpcontent/uploads/sites/7/2013/03/Material-Komposit.pdf>. (1 Oktober 2019).
- [9] Jagadish, S. P. et al., 2017, *Fabrication and investigation of tensile and bending-mechanical and oxidative biodegradation properties of hybrid natural fibre reinforced bio-composites*, International Journal of Mechanical Engineering and Technology, Vol. 8 No. 1, pp. 1–14.
- [10] Mahendra, A., N.P.G. Suardana dan Lokantara P., 2018, *Pengaruh Variasi Panjang Serat Terhadap Kekuatan Bending Komposit Polypropylene Daur Ulang Berpenguat Serat Sansevieria Trifasciata*, Skripsi Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Udayana, Bali..gov/19930073077.pdf, Available: (20 September 2019).



Analisis Peningkatan Efisiensi Penggunaan Energi Listrik pada Sistem Pengkondisian Udara di Hotel Dewata Indah Denpasar

I Wyn Teddy Andhika Putra, I Gst. Bagus Wijaya Kusuma,
dan Hendra Wijaksana

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Penggunaan energi listrik pada industri perhotelan lebih banyak digunakan pada sistem pengkondisian udara, kurang tepatnya pemilihan tipe dan kapasitas pendinginan AC akan mengakibatkan pemborosan energi listrik. Penelitian ini dimaksudkan untuk menghitung beban pendinginan pada kamar hotel Dewata Indah agar dapat mengetahui seberapa besar pemborosan energi listrik pada sistem pengkondisian udara serta dapat meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik. Penelitian ini menggunakan metode pengumpulan data secara observasi dan wawancara. Selanjutnya dilakukan pengolahan data yaitu: menghitung nilai beban pendinginan, OTTV, dan IKE. Setelah mendapatkan hasil dilanjutkan dengan analisis untuk mendapatkan kesimpulan. Dapat disimpulkan rata-rata beban pendinginan di kamar hotel Dewata Indah sebesar 1568.21 W dan nilai rata-rata OTTV sebesar 69.59 W/m². Rata-rata nilai IKE sepanjang tahun 2019 adalah sebesar 20.66 kWh/m²/bulan, sehingga tingkat efisiensinya termasuk kategori boros, besarnya pemborosan energi pada sistem pengkondisian udara di hotel Dewata Indah adalah 156.6 kWh per hari. Hal ini merupakan penggunaan energi yang tidak efisien sehingga harus dioptimalkan dengan cara mengganti AC dengan kapasitas pendinginan yang lebih rendah, mengurangi penggunaan sistem pengkondisian udara, memasang sensor pada AC, dan mengatur temperatur ruangan standar kenyamanan termal.

Kata kunci: Energi listrik, Sistem pengkondisian udara, Beban pendinginan, OTTV

Abstract

Electrical energy use in hotel industry is more widely in air conditioning systems, inaccurate selection type and cooling capacity AC will result waste of electrical energy. This research intended to calculate the cooling load on Dewata Indah hotel room to find how much electricity wasted in air conditioning system and increase efficiency electrical energy use. This study uses data collection methods by observation and interviews. furthermore, data processing is carried out, namely: calculating the cooling load, OTTV, and IKE. After getting the results, followed by analysis to get conclusion. Can be concluded average cooling load in Dewata Indah hotel room is 1568.21 W and average OTTV is 69.59 W/m². Average IKE throughout 2019 amounted to 20.66 kWh/m²/month, so that the efficiency levels including wasteful category, amount of energy waste in air conditioning systems of Dewata Indah hotel is 156.6 kWh/day. This is inefficient use of energy, so it must be optimized by replacing the air conditioner with a lower cooling capacity, reducing the use of air conditioning systems, installing sensors on the air conditioner, and adjusting the standard room temperature for thermal comfort.

Keywords: Electrical energy, Air conditioning systems, Cooling load, OTTV

1. Pendahuluan

Kehidupan manusia pada saat ini sangat bergantung pada energi listrik, dan seiring perkembangan teknologi penggunaan terhadap energi listrik setiap tahunnya semakin meningkat, karena hampir semua kegiatan manusia menggunakan energi listrik, sehingga pada saat ini betapa pentingnya energi listrik bagi kelangsungan hidup manusia.

Seiring bertambahnya penduduk di Indonesia penggunaan energi listrik semakin meningkat hal ini tidak diikuti dengan ketersediaan energi listrik yang selama ini disalurkan. Untuk membangkitkan listrik dari unit pembangkit dibutuhkan bahan bakar untuk menghasilkan energi primer yang akan menggerakkan turbin [1]. Bahan bakar yang digunakan pembangkit adalah bahan bakar fosil dan non-fosil. Bahan bakar fosil berupa batu bara, minyak, dan gas, sedangkan bahan bakar non-fosil dapat berupa air, panas bumi, angin, dan sebagainya. Bahan bakar fosil jika digunakan secara terus menerus dalam jangka waktu yang panjang akan habis, sedangkan

kebutuhan akan listrik tiap tahunnya semakin bertambah.

Upaya atau tindakan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik adalah dengan melakukan konservasi energi. Konservasi energi adalah penggunaan energi secara efektif, optimal, dan efisien tanpa mengurangi fungsi energi itu sendiri secara teknis. Sederhananya dengan kata lain yang lebih sederhana konservasi energi listrik adalah penghematan energi listrik [2].

Penggunaan energi listrik pada sektor pariwisata terfokus pada provinsi Bali yang merupakan destinasi wisata yang sudah terkenal baik bagi wisatawan nusantara maupun wisatawan mancanegara, sehingga pemerintah provinsi Bali wajib menyediakan sarana dan prasarana yang menunjang kegiatan di sektor pariwisata. Salah satunya sarana penunjang adalah hotel kelas melati sampai bintang 3 yang sesuai dengan anggaran wisatawan. Hotel Dewata Indah yang terletak di kota Denpasar merupakan hotel kelas bintang 1 yang

menjadi tujuan menginap wisatawan nusantara karena harganya yang cukup terjangkau.

Dalam bisnis perhotelan, energi sangat penting, terutama dalam penggunaan energi listrik. Di dalam hotel tersedia fasilitas yang dalam pengoperasiannya cukup besar mengonsumsi energi listrik adalah sistem pengkondisian udara yaitu sebesar 48.5 % dari total penggunaan energi [3]. Penggunaan AC (*Air Conditioning*) di hotel cenderung boros, ini dikarenakan terdapat kesalahan saat pemilihan AC yang akan digunakan serta para wisatawan atau pengunjung hotel banyak yang menggunakan AC secara berlebihan dan kurang efisien. Tentunya tindakan ini salah satu dari pemborosan energi. Oleh karena itu, usaha penghematan energi yang dilakukan terhadap penggunaan sistem AC akan berdampak signifikan terhadap usaha penghematan energi nasional.

Tujuan dari penelitian ini yaitu: mengalisis beban pendinginan di hotel dan mengetahui tingkat pemborosan energi listrik pada sistem pengkondisian udara di hotel. Permasalahan yang akan di bahas dalam penelitian ini yaitu: bagaimana menghitung beban pendinginan di hotel ? dan bagaimana tingkat efisiensi energi listrik pada sistem pengkondisian udara di hotel ?. Agar penelitian lebih terarah, maka permasalahan akan dibatasi sebagai berikut:

1. Tarif dasar listrik yang digunakan adalah tarif dasar listrik yang terbaru.
2. Tidak membahas pola hidup pengunjung saat di hotel.
3. Analisis peningkatan efisiensi penggunaan energi listrik dilakukan hanya pada sistem pengkondisian udara.

2. Dasar Teori

2.1. Konservasi Energi

Efisiensi energi adalah upaya yang dilakukan dengan tujuan untuk mengurangi jumlah energi yang dibutuhkan, dalam pengoperasian sebuah peralatan atau sistem yang mengonsumsi energi, tanpa mengurangi fungsi peralatan atau sistem itu sendiri secara teknis.

Konservasi energi listrik merupakan penggunaan energi listrik dengan tingkat efisiensi yang tinggi melalui langkah-langkah mengurangi berbagai kerugian-kerugian (*losses*) energi listrik pada semua pengelolaan, mulai dari pembangkitan, pengiriman (transmisi), sampai dengan pemanfaatan (konsumen) [4].

2.2. Beban Pendinginan

Terdapat banyak aspek yang diperhitungkan dalam menentukan beban pendinginan pada suatu pengkondisian udara. Aspek aspek ini memiliki akibat untuk kapasitas sistem, pengendalian, serta perancangan, dan penempatan sistem saluran udara, ataupun unit-unit terminal.

Secara garis besar, beban pendinginan diklasifikasikan menjadi 2, ialah beban kalor yang

masuk dari luar ruangan ke dalam ruangan (beban eksternal) serta beban kalor yang bersumber dari dalam ruangan itu sendiri (beban internal).

Beban pendinginan dapat dihitung melalui persamaan berikut:

- Hambatan termal setiap lapisan pada selubung bangunan

$$R_{tot} = r_1 + r_2 + r_3 + \dots r_n \quad (1)$$

- Koefisien perpindahan panas pada dinding bangunan

$$U = \frac{1}{R_{tot}} \quad (2)$$

- Beban pendingin eksternal

- Beban pendinginan melalui dinding dengan orientasi tertentu:

$$Q = A \times U \times \Delta T \quad (3)$$

- Beban pendingin melalui kaca jendela:

$$Q = A \times U \times \Delta T \quad (4)$$

Dimana:

A= Luasan dinding/kaca

U=Koefisien perpindahan panas pada dinding /kaca

ΔT =Beda temperatur luar ruangan dengan dalam ruangan

- Beban pendinginan infiltrasi sensibel:

$$Q = A \times CFM \times 1,08 \times \Delta T \quad (5)$$

Dimana:

A = Luasan infiltrasi

CFM= Infiltrasi

CLF = *Coefficient Load Factor*

- Beban pendingin internal

- Beban pendinginan akibat kalor sensibel penghuni

$$Q = \text{jumlah orang} \times \text{kalor manusia} \times \text{koreksi faktor kelompok} \quad (6)$$

- Beban pendinginan akibat kalor laten penghuni

$$Q = \text{jumlah orang} \times \text{kalor manusia} \quad (7)$$

Beban pendinginan akibat pemakaian lampu

$$Q = \text{jumlah Watt} \times \text{Faktor ballast} \times 3,4 \times \text{Faktor Utility} \times \text{CLF} \quad (8)$$

- Beban pendingin akibat peralatan elektronik

$$Q = \text{jumlah Watt} \times \text{CLF} \times \text{faktor keofisien peralatan} \quad (9)$$

2.3. Overall Thermal Transfer Value (OTTV)

OTTV (Overall Thermal Transfer Value) adalah nilai perpindahan termal menyeluruh untuk setiap bidang selubung luar bangunan gedung dengan orientasi tertentu [5].

$$OTTV = \frac{\text{beban pendinginan (Watt)}}{\text{luas lantai (m}^2\text{)}} \quad (10)$$

2.4. Intensitas Konsumsi Energi (IKE)

IKE merupakan suatu nilai atau besaran yang dapat dijadikan sebagai indikator untuk mengukur tingkat pemanfaatan energi di suatu bangunan atau gedung.

$$IKE = \frac{\text{total konsumsi energi (kWh)}}{\text{luas lantai total (m}^2\text{)}} \quad (11)$$

3. Metodologi Penelitian

3.1. Deskripsi Penelitian

Penggunaan energi listrik pada industri perhotelan sangat penting untuk menunjang fasilitas yang disediakan oleh hotel. Penggunaan energi listrik di hotel sebagian besar untuk sistem pengkondisian udara yaitu sebesar 48.5 % dari total penggunaan energi. Sistem pengkondisian udara sangat penting untuk kenyamanan pengunjung di kamar hotel.



Gambar 1. Hotel Dewata Indah

Untuk itu diperlukan analisis terhadap penggunaan energi listrik pada sistem pengkondisian udara agar dapat meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik di hotel Dewata Indah. Pada penelitian ini akan dilakukan penghitungan nilai beban pendinginan dan nilai OTTV pada bangunan hotel agar dapat menentukan kapasitas AC yang tepat, serta menghitung nilai IKE pada bangunan hotel untuk menentukan penggunaan energi listrik di hotel tersebut, setelah dilakukan analisis penggunaan energi diharapkan dapat memberikan rekomendasi peluang hemat energi, sehingga dapat meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik di hotel Dewata Indah.

3.2. Alat

Alat yang digunakan adalah laptop sebagai *hardware*, serta alat ukur yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Meteran (mencari luas kamar)



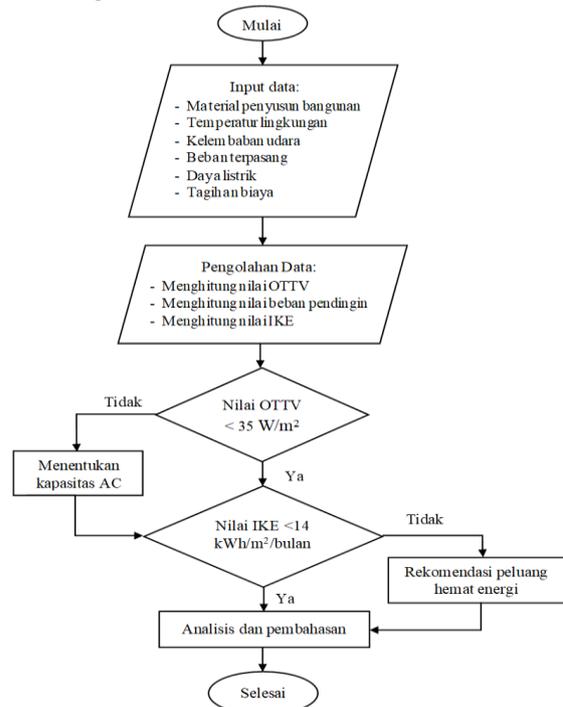
Gambar 2. Meteran

- Termometer digital (mengukur temperatur ruangan dan lingkungan)



Gambar 3. Termometer digital

3.3. Diagram Alir Penelitian



Gambar 4. Diagram alir penelitian

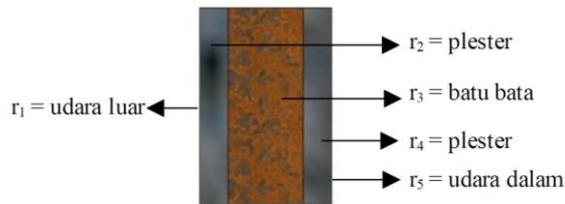
4. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan data yang telah diperoleh, dilakukan perhitungan untuk mengetahui besarnya beban pendinginan rata-rata kamar hotel per lantai agar dapat mengetahui kapasitas AC yang dibutuhkan untuk rata-rata kamar hotel, dengan temperatur lingkungan 39.6 °C serta orientasi bangunan menghadap ke barat.

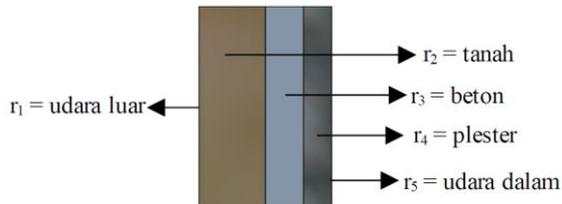
Tabel 1. Temperatur dan luas kamar rata-rata setiap lantai

Lantai	Temperatur kamar rata-rata (°C)	Luas lantai rata-rata (m ²)	Luas atap rata-rata (m ²)	Luas dinding rata-rata (m ²)			
				Utara	Timur	Selatan	Barat
1	30.62	24.5	24.5	14.575	13.8	16.1	13.8
2	30.625	21.55	21.55	13.262	12.767	14.13	10.792
3	31.14	21.55	21.55	13.262	12.767	14.13	10.792

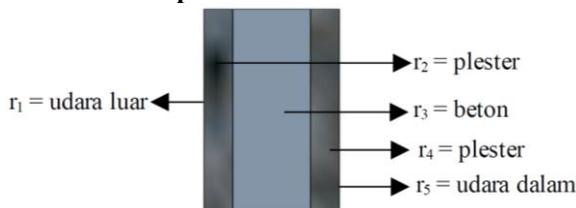
Sesuai dengan persamaan 1, hambatan termal setiap lapisan pada selubung bangunan harus dihitung. Gambar 5, 6, dan 7 merupakan lapisan pada selubung bangunan hotel Dewata indah



Gambar 5. Lapisan material penyusun dinding



Gambar 6. Lapisan material penyusun lantai pada kamar lantai 1



Gambar 7. Lapisan penyusun langit-langit lantai 1, 2, dan 3 serta lapisan penyusun lantai pada lantai 2 dan 3

Sesuai dengan persamaan 2, dengan mengetahui nilai R_{total} maka bisa didapatkan nilai koefisien perpindahan panas pada selubung bangunan

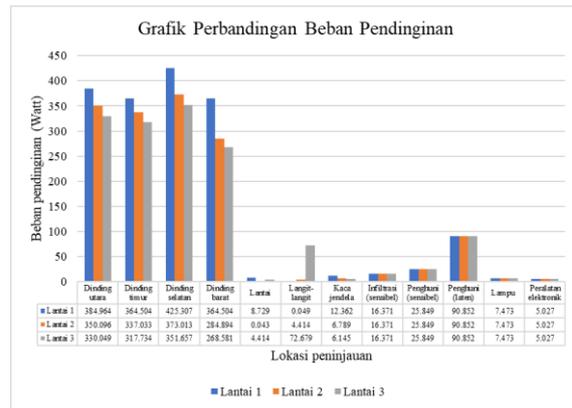
Tabel 2. Hambatan termal beberapa material [6]

No.	Nama material	Hambatan termal (r) ($hr \text{ } ^\circ F ft^2 / Btu$)
1	Lapisan udara luar	0.25
2	Batu bata setebal 90 mm	0.80
3	Lapisan udara dalam	0.68
4	Beton, butiran pasir dan kerikil 100 mm	0.11
5	Plester, butiran pasir dan semen 16 mm	0.10
6	Tanah	12.50
8	Kaca	0.209

4.1. Beban pendinginan

Beban pendinginan tertinggi dihasilkan dari lokasi peninjauan pada dinding sebelah selatan di lantai 1 yaitu sebesar 425.307 Watt ini disebabkan karena panas matahari langsung dan luas dinding pada bagian selatan lebih besar dibandingkan luas dinding lainnya dan beban pendinginan terendah dihasilkan dari lokasi peninjauan pada lantai 2 yaitu sebesar 0.043 Watt karena perbedaan temperatur lantai rendah.

Total beban pendinginan rata-rata kamar hotel Dewata Indah lantai 1 adalah 1705.94 Watt, lantai 2 adalah 1501.85 W, dan untuk lantai 3 adalah 1496.83 W. beban pendinginan terbesar terjadi di lantai 1, hal ini disebabkan oleh selisih temperatur lingkungan dengan temperatur ruangan lebih besar dari selisih temperatur lantai 2 dan lantai 3.



Gambar 8. Grafik perbandingan beban pendinginan rata-rata kamar di lantai 1, 2, dan 3

Setiap kamar rata-rata membutuhkan kapasitas pendinginan 1568.21 W dapat diatasi dengan AC merk SHARP 2050 W ($\frac{3}{4}$ PK), tetapi pada kenyataan di lapangan kapasitas AC dengan merk SHARP yang dipasang adalah 2640 W (1 PK).

Tabel 3. Spesifikasi AC merk SHARP

	Kapasitas pendinginan	Daya input
1 PK	2.64 kW	820 W
$\frac{3}{4}$ PK	2.05 kW	595 W

Besarnya pemborosan energi listrik pada sistem pengkondisian udara di hotel Dewata Indah:

$$820 W - 595 W = 225 W$$

$$225 W \times 24h \times 29 \text{ kamar} = 156600 Wh = 156.6 kWh \text{ per hari}$$

Dalam bentuk rupiah, dengan tarif dasar listrik 1444.70 Rp/kWh, maka besarnya pemborosan energi listrik pada sistem pengkondisian udara di hotel Dewata Indah:

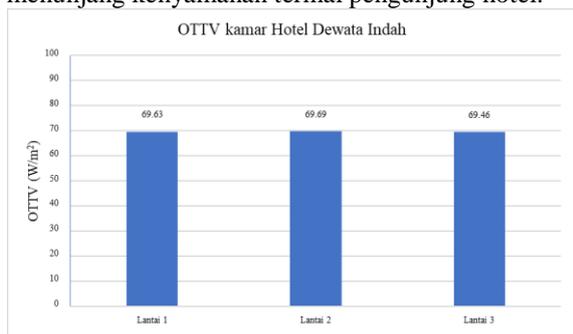
$$156.6 kWh \times Rp. 1444.70 = Rp. 226240 \text{ per hari}$$

Berdasarkan hasil perhitungan didapat besarnya pemborosan energi listrik pada sistem pengkondisian udara di hotel Dewata Indah adalah 156.6 kWh per hari, jika dalam bentuk rupiah sebesar Rp. 226240 per hari. Penyebab dari pemborosan ini adalah pemilihan kapasitas pendinginan AC yang kurang tepat. Hal ini merupakan penggunaan energi yang tidak efisien sehingga harus dioptimalkan dengan cara mengganti kapasitas pendinginan AC yang tepat, mengurangi penggunaan sistem pengkondisian udara, memasang sensor pada AC, sehingga jika tidak ada pengunjung di kamar hotel AC dalam keadaan mati, dan mengatur temperatur ruangan standar kenyamanan termal.

4.2. Overall Thermal Transfer Value (OTTV)

Nilai OTTV yang dihasilkan dari kamar hotel Dewata indah lantai 1 adalah 69.63 W/m^2 , lantai 2 adalah 69.69 W/m^2 , dan lantai 3 adalah 69.46 W/m^2 . Nilai ini cukup besar jika dibandingkan dengan standar yang telah ditetapkan oleh SNI 03-6389-2011 yaitu sebesar 35 W/m^2 , sehingga pemasangan sistem pengkondisian udara sudah sangat tepat mengingat nilai OTTV yang cukup tinggi,

pengkondisian udara sangat membantu untuk menunjang kenyamanan termal pengunjung hotel.

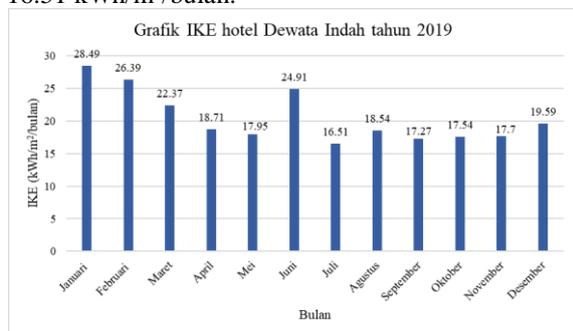


Gambar 9. Grafik OTTV tiap kamar hotel Dewata Indah

Tingginya nilai OTTV ini bisa disebabkan oleh beberapa faktor yaitu: temperatur lingkungan yang tinggi, kurang tepat pemilihan material penyusun bangunan, orientasi bangunan terhadap sinar matahari, luas bangunan, serta panas akibat penghuni dan peralatan elektronik di dalam kamar hotel.

4.3. Intensitas Konsumsi Energi (IKE)

Penggunaan energi listrik dan nilai IKE yang didapat dengan luas bangunan 426.36 m² dengan tarif dasar listrik golongan B2 yaitu 1444.70 Rp/kWh tertinggi sepanjang tahun 2019 adalah pada bulan Januari sebesar 12146.26 kWh dengan nilai IKE sebesar 28.49 kWh/m²/bulan, dan penggunaan listrik terendah serta nilai IKE terendah pada bulan Juli sebesar 7040.35 kWh dengan nilai IKE sebesar 16.51 kWh/m²/bulan.



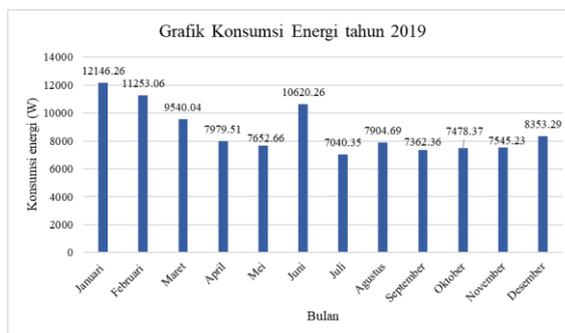
Gambar 10. Grafik IKE hotel Dewata Indah tahun 2019

Besarnya konsumsi energi listrik per bulannya tergantung pada tingkat okupansi hotel itu sendiri, sehingga berdasarkan data tingkat okupansi hotel pada bulan Januari, Februari dan Juni cukup tinggi dibandingkan dengan bulan yang lain seperti pada gambar 11.

Rata-rata nilai IKE sepanjang tahun 2019 adalah sebesar 20.66 kWh/m²/bulan, jika dibandingkan dengan gedung ber-AC, tingkat efisiensi bangunan Hotel Dewata indah termasuk kategori boros karena lebih besar dari 18.5 kWh/m²/bulan.

Hal ini dapat optimalkan dengan perilaku hemat energi salah satunya mengurangi penggunaan sistem pengkondisian udara atau pemasangan *sensor* pada sistem pengkondisian udara serta rutin melakukan

perawatan pada peralatan yang besar mengkonsumsi energi listrik.



Gambar 11. Grafik konsumsi energi Hotel Dewata Indah tahun 2019

Tabel 4. Standar nilai IKE untuk gedung perkantoran ber-AC [7]

No.	Kriteria	Konsumsi Energi Spesifik (kWh/m ² /Bulan)
1.	Sangat efisien	<8.5
2.	Efisien	8.5 ~ <14
3.	Cukup efisien	14 ~ <18.5
4.	Boros	≥18.5

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai peningkatan efisiensi penggunaan energi listrik pada sistem pengkondisian udara di hotel Dewata Indah, dapat disimpulkan beberapa hal antara lain:

1. Beban pendinginan untuk kamar hotel Dewata Indah lantai 1 adalah 1705.94 Watt, lantai 2 adalah 1501.85 W, dan untuk lantai 3 adalah 1496.83 W. Nilai OTTV yang dihasilkan dari kamar hotel Dewata indah lantai 1 adalah 69.63 W/m², lantai 2 adalah 69.69 W/m², dan lantai 3 adalah 69.46 W/m². Nilai ini cukup besar jika dibandingkan dengan standar yang telah ditetapkan oleh SNI 03-6389-2011 yaitu sebesar 35 W/m², sehingga pemasangan sistem pengkondisian udara sudah sangat tepat
2. Rata-rata nilai IKE hotel Deawata Indah sepanjang tahun 2019 adalah sebesar 20.66 kWh/m²/bulan, sehingga tingkat efisiensinya termasuk kategori boros, besarnya pemborosan energi pada sistem pengkondisian udara di hotel Dewata Indah adalah 156.6 kWh per hari. Hal ini merupakan penggunaan energi yang tidak efisien, sehingga harus dioptimalkan dengan mengganti kapasitas pendinginan AC yang tepat, mengurangi penggunaan sistem pengkondisian udara serta pemasangan *sensor* pada AC.

Daftar Pustaka

- [1] Deniartio R., 2012, *Analisis Potensi Pemborosan Energi Listrik Di Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia*, Skripsi Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

- [2] Prasetio H., 2008, *Konservasi Energi Listrik Pada Industri Otomotif*, Skripsi Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- [3] Wiyono G., n.d., *Prosedur Energi Listrik*, Program Studi Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta.
- [4] Prasetya Y., 2014, *Analisis Peningkatan Efisiensi Penggunaan Energi Listrik pada Sistem Pencahayaan dan Air Conditioning (AC) di Gedung Perpustakaan Umum dan Arsip Daerah Kota Malang*, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
- [5] Gendo R., Priatman J., & Loekito S., 2011, *Analisa Konservasi Energi Selubung Bangunan Berdasarkan SNI 03-6389-2011. Studi Kasus: Gedung P1 Dan P2 Universitas Kristen Petra Surabaya*, 1–7. Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- [6] Wijaya Kusuma IG.B., 2012, *Kenyamanan Termal pada Bangunan di Denpasar*, 1–74.
- [7] Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2012, *Permen ESDM No. 13 Tahun 2012 tentang Penghematan Pemakaian Tenaga Listrik*.



I Wayan Teddy Andhika Putra menyelesaikan program sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana pada tahun 2021.

Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan pengkondisian udara, audit energi dan manajemen energi.

Karakteristik Kekuatan Tarik dan Lentur Komposit Polyester Berpenguat Serat Sisal Yang Diekstraksi Dengan Metode *Water Retting*

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

Abstrak

Kebutuhan akan material logam semakin bertambah sehingga menimbulkan kelangkaan material yang tersedia di alam serta tidak dapat diperbaharui. Untuk itu banyak dilakukan penelitian dan pengembangan komposit yang diperkuat serat alam memiliki sifat mekanis sehingga dapat mengimbangi keunggulan material logam. Penelitian ini menggunakan bahan polyester jenis Yukalac 157 BQTN-EX. Serat alam yang digunakan berasal dari daun sisal. Daun sisal tersebut dilakukan proses ekstraksi dengan metode *water retting* untuk mendapatkan serat sisal. Setelah itu diberikan perlakuan NaOH dengan variasi 0%; 2,5%; 5%; dan 7,5% selama 2 jam. Serat sisal yang memperoleh kekuatan tarik serat tunggal tertinggi 581,86 MPa pada perlakuan NaOH 5% selama 2 jam. Komposit dicetak menggunakan teknik *hand lay up* variasi fraksi berat serat 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% orientasi serat acak dengan panjang serat 30 mm. Komposit dipotong mengacu pada standar ASTM D 638 untuk uji tarik dan uji lentur ASTM D790-02. Kekuatan tarik komposit polyester berpenguat serat sisal yang diekstraksi dengan metode *water retting* tertinggi terjadi pada fraksi berat serat 10% dengan nilai rata-rata sebesar 28,73 MPa dan terendah 13,15 MPa pada fraksi berat serat 0%. Sedangkan untuk kekuatan lentur komposit tertinggi 94,10 MPa terjadi pada fraksi berat serat 0% dan menurun sampai 36,50 MPa pada fraksi berat serat 10%.

Kata kunci : Serat sisal, serat tunggal, kekuatan tarik, kekuatan lentur.

Abstract

The need for metal materials is increasing, causing a scarcity of materials that are available in nature and cannot be renewed. For this reason, a lot of research and development has been done on composite reinforced natural fiber that have mechanical properties that can compensate for the properties and advantages of metal materials. The material use in this research is a polyester type Yukalac 157 BQTN-EX. Natural fibers from Agave Sisalana. The agave sisalana were extract by the *water retting* method to obtain sisal fibers. After that, NaOH treatment was given with variations of 0%, 2.5%, 5%, and 7.5% for 2 hours. Sisal fibers obtained the highest tensile strength of single fiber 581.86 MPa at 5% NaOH treatment for 2 hours. Then composite molding was carried out using *hand lay-up* techniques with variations in fiber weight fraction 0%, 2.5%, 5%, 7.5%, and 10% random fiber orientation with a fiber length of 30 mm. Composite cutting conforms to ASTM D 638 standards for tensile tests and bending tests ASTM D790-02. The highest tensile strength of composites polyester reinforced sisal fiber extracted by the *water retting* method occurred in the fiber weight fraction of 10% with an average value of 28.73 MPa and the lowest was 13.15 MPa at the fiber weight fraction of 0%. Meanwhile, the highest flexural strength of composite 94.10 MPa at 0% fiber weight fraction and decreased to 36.50 MPa at 10% fiber weight fraction.

Keywords : sisal fiber, single fiber, tensile strength, flexural strength.

1. Pendahuluan

Penggunaan material untuk kebutuhan industri masih banyak mengandalkan bahan material logam yang tidak dapat diperbaharui. Untuk itu banyak dilakukan penelitian dan pengembangan material baru. Belakangan ini berkembang komposit serat alam yang dapat mengimbangi keunggulan material logam. Komposit adalah penggabungan suatu material yang terdiri dari *matrix* dan *reinforcement*. Keunggulan komposit yaitu ringan, kuat, tahan terhadap korosi.

Belakangan ini serat alam termasuk sisal banyak dikembangkan sebagai penguat komposit. Rata-rata serat sisal mengandung 71% selulosa, 12% hemiselulosa, 10% pektin, dan 9% lignin [1]. Serat sisal yang berada pada daun sisal harus dilakukan pemisahan terlebih dahulu sebelum dapat dipergunakan sebagai penguat. Metode ekstraksi yang digunakan adalah *water retting*. Proses *water retting* adalah suatu proses yang dilakukan oleh micro-organisme untuk memisahkan atau membuat

busuk zat-zat perekat yang berada pada daun sisal, sehingga serat sisal mudah terpisah dan terurai satu dengan lainnya. Selanjutnya serat diberikan perlakuan alkali NaOH dengan variasi 2,5% ; 5% ; dan 7,5% selama 2 jam.

2. Dasar Teori

2.1. Serat Sisal

Serat sisal memiliki nama latin *Agave Sisalana* yang berfungsi sebagai penguat dalam komposit tersebut. Daun sisal dilakukan proses ekstraksi menggunakan metode *water retting* untuk mendapatkan serat sisal. Pengambilan daun sisal di Desa Dukuh, Kabupaten Karangasem yang hidup di daerah bebatuan dan kering.

2.2. Resin Poliester

Penggunaan resin pada penelitian ini yaitu menggunakan resin poliester jenis Yukalac 157 BQTN-EX. Adapun karakteristik dari resin ini sebagai berikut :

Tabel 1. Karakteristik Resin Yukalac 157 BQTN-EX [2 ; 3]

No.	Sifat	Nilai
1.	Densitas (ρ)	1,2 g/cm ³
2.	Kekuatan tarik (σ)	12,07 N/mm ²
3.	Modulus elastisitas (E)	1,18 x 10 ³ N/mm ²
4.	Kekuatan fleksural	94 N/mm ²
5.	Modulus fleksural	3,00 x 10 ³ N/mm ²
6.	Poisson ratio(v)	0,33

2.3. Perhitungan Fraksi Berat Serat

Untuk menentukan jumlah serat sisal menggunakan persamaan berikut :

$$FB = \frac{w_f}{w_c} \times 100 \quad (1)$$

$$w_c = w_f + w_r$$

$$w_r = V_{ce} \times \rho_r$$

$$V_{ce} = p \times \ell \times t$$

2.4. Perhitungan Perlakuan NaOH

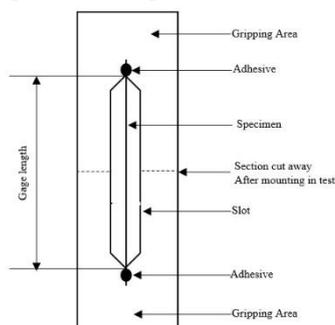
Untuk menghitung berat NaOH setiap variasi larutan NaOH yang dilarutkan dengan air suling (*Aquades*) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$BN = \text{Persentase NaOH} \times w_a \quad (2)$$

$$w_a = \rho_a \times v_a$$

2.5. Uji Tarik Serat Tunggal

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



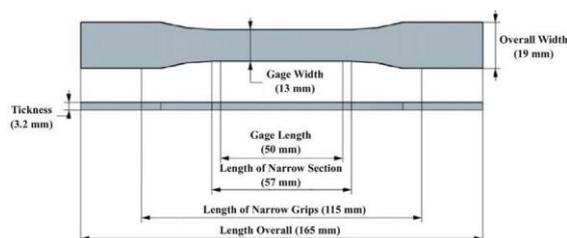
Gambar 1. Uji Tarik Serat Tunggal

Dari pengujian tarik serat tunggal didapat kekuatan serat tunggal :

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

2.6. Uji Tarik Komposit

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik komposit. Spesimen pengujian tarik mengacu standar ASTM D638 seperti pada Gambar 2.



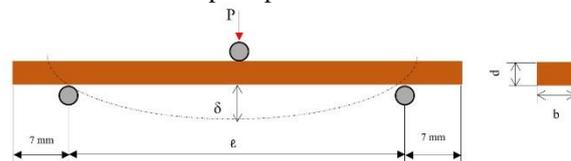
Gambar 2. Uji Tarik Komposit

Perhitungan tegangan tarik, regangan tarik dan modulus elastisitas komposit :

$$\sigma = \frac{P}{A_0}, \epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}, E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \epsilon} \quad (4)$$

2.7. Uji Lentur Komposit

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan lentur komposit serta elastisitasnya. Spesimen pengujian bending mengacu standar ASTM D790-03 seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Uji Lentur Komposit

Perhitungan tegangan lentur, regangan lentur dan modulus elastisitas komposit :

$$\sigma_L = \frac{3Pl}{2bd^2}, \epsilon_L = \frac{6\delta d}{l^2}, E = \frac{l^3 m}{4bd^3} \quad (5)$$

2.8. Pengamatan Permukaan Patah Dengan Mikroskop Makro

Pengamatan ini bertujuan untuk mengetahui jenis patahan pada permukaan komposit setelah pengujian tarik. Dilihat pada Gambar 4 terjadi overload di titik A yaitu putusya serat yang diakibatkan karena batas kekuatan serat dan ikatan antara serat yang kuat. Pada titik B terjadi pullout yaitu ikatan antara matriks dan serat tidak kuat sehingga serat terlepas dari ikatan matriks. Pada titik C terjadi delamination yang disebabkan karena tingginya tegangan interlaminalar. Pada titik D terjadi matrix flow yaitu karena matriks terlalu berlebihan sehingga terjadi pergeseran alur pada matriks.



Gambar 4. Mekanisme Kegagalan Pada Patahan

3. Metode Penelitian

3.1. Alat Penelitian

1. Alat Uji Tarik Serat Tunggal
2. Alat Uji Tarik Komposit
3. Alat Uji Lentur Komposit
4. Mikroskop
5. Lensa Perbesaran 40x dan 100x
6. Cetakan Kaca 25 x 20 x 0,3 cm
7. Timbangan Digital
8. Oven
9. Gelas Ukur 1 liter
10. Suntikan 5 ml

3.2. Bahan Penelitian

1. Resin Yukalac 157 BQTN-EX
2. Katalis MEKPO

3. Serat Sisal
4. NaOH
5. Gliserin

3.3. Prosedur Penelitian

3.3.1. Proses Pembuatan Serat Sisal

1. Siapkan daun sisal yang berada pada 3-5 daun dari yang paling bawah tanaman sisal.
2. Ekstraksi daun sisal dengan menggunakan metode water retting.
3. Masukkan daun – daun sisal yang sudah disiapkan ke dalam wadah yang berisi air.
4. Rendam selama 4 hingga 7 hari.
5. Setelah perendaman selesai daun – daun sisal yang telah mengalami ekstraksi dipisahkan serat dengan zat pengikatnya menggunakan sikat kawat.
6. Selanjutnya serat dibersihkan dan dikeringkan tanpa terkena sinar matahari.

3.3.2. Uji Tarik Serat Tunggal

1. Serat sisal diberi perlakuan NaOH dengan variasi 2,5% ; 5% ; dan 7,5% dalam waktu perendaman yang sama yaitu 2 jam.
2. Persiapkan specimen uji tarik serat tunggal yang mengacu standar ASTM C 1557-03.
3. Specimen uji tarik serat tunggal dibuat dengan kertas karton dan lem epoxy sebagai pengikat serat sisal dengan karton.
4. Setelah specimen uji tarik kering yaitu selama 24 jam maka proses selanjutnya adalah pemasangan karton untuk grip tujuannya agar serat sisal tidak lepas pada saat pengujian tarik.
5. Sebelum pengujian maka terlebih dahulu mengambil foto makro dan mengukur diameter serat sisal. Gunakan mikroskop dengan lensa pembesaran 40x yang tersambung ke komputer menggunakan aplikasi Future Winjoe untuk mengambil foto makro serat sisal dan menggunakan aplikasi ImageJ untuk mengetahui diameter serat sisal.
6. Kemudian pemasangan specimen ke alat uji tarik serat tunggal. Gunting bagian sisi kiri dan kanan karton. Set 0 pada dial gauge dan posisikan jarum ke 0 pada *analog force gauge* alat uji tarik.
7. Lakukan pengujian tarik serat tunggal.
8. Perhatikan setiap 0,2 mm pertambahan panjang serat pada *dial gauge* dan catat pembebanan yang terjadi.
9. Masukkan data pengujian kedalam tabel uji tarik serat tunggal. Hitung nilai tegangan, regangan dan modulus elastisitas lalu dibuat grafik antara tegangan dengan regangan.
10. Serat tunggal dengan kekuatan tarik tertinggi digunakan untuk membuat komposit.

3.3.3. Proses Pembuatan Komposit

1. Pemotongan serat yang sesuai dengan panjang yaitu 3 cm.

2. Menghitung berat Yukalac 157 BQTN-EX agar sesuai dengan berat komposit yang akan dicetak.
3. Mencampurkan Yukalac 157 BQTN-EX dengan 1% hardener MEKPO ke dalam gelas ukur (v/v).
4. Cetakan kaca diberi gliserin agar resin tidak melekat pada cetakan, ratakan dengan tissue untuk menipiskan lapisan gliserin.
5. Campuran poliester, hardener, dan serat sisal sesuai hitungan dituangkan pada cetakan kaca.
6. Cetakan ditutup dengan kaca seberat 2,20 kg dan diberikan beban pemberat sekitar 5 kg selama 24 jam sehingga komposit ditekan dengan kekuatan sebesar $1,41 \times 10^{-3} \text{ N/mm}^2$.
7. Keluarkan komposit dari cetakan dan masukkan kedalam oven dengan temperatur 65 °C selama 2 jam.
8. Potong specimen sesuai dengan standar ASTM D638 dan ASTM D790-03.

3.3.4. Uji Tarik Komposit

1. Panjang dan tebal specimen diukur terlebih dahulu sebelum diuji.
2. Persiapkan alat uji tarik komposit yang digunakan.
3. Pasang specimen dan pastikan terjepit dengan baik.
4. Mulai pengujian dengan alat uji tarik komposit.
5. Perhatikan pertambahan panjang yang akan patah, hentikan alat uji tarik ketika sudah patah, catat pertambahan panjang dan beban tarik maksimum.

3.3.5. Uji Lentur Komposit

1. Ukur tebal specimen uji lentur menggunakan jangka sorong.
2. Persiapkan alat uji lentur komposit.
3. Menentukan titik tumpuan dan titik tengah dengan memberikan tanda garis.
4. Meletakkan specimen yang akan diuji.
5. Putar handle sampai beban menyentuh specimen dan *load indicator* menunjukan angka nol.
6. Catat hasil besar beban yang diberikan pada tiap putaran 0,1 mm yang ditentukan.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Uji Tarik Serat Tunggal

Tabel 2. Data Hasil Perhitungan Uji Tarik Serat Sisal Tanpa Perlakuan

Kode Spesimen	σ (MPa)	ϵ (%)	E (GPa)
TP 1	84,93	18,8	0,45
TP 2	82,44	16,40	0,50
TP 3	86,47	17,60	0,49
TP 4	76,46	15,60	0,49
TP 5	81,46	21,60	0,38
TP 6	70,00	14,00	0,50
TP 7	74,15	14,80	0,50
RATA -RATA	79,42	16,97	0,47

Tabel 3. Data Hasil Perhitungan Uji Tarik Serat Sisal Perlakuan 2,5% NaOH

Kode Spesimen	σ (MPa)	ϵ (%)	E (GPa)
A 1	476,00	9,20	5,17
A 2	313,60	6,00	5,23
A 3	110,25	5,20	2,12
A 4	220,50	8,40	2,63
A 5	147,00	6,00	2,45
A 6	316,62	11,20	2,83
A 7	206,89	5,20	3,98
RATA - RATA	255,84	14,68	3,49

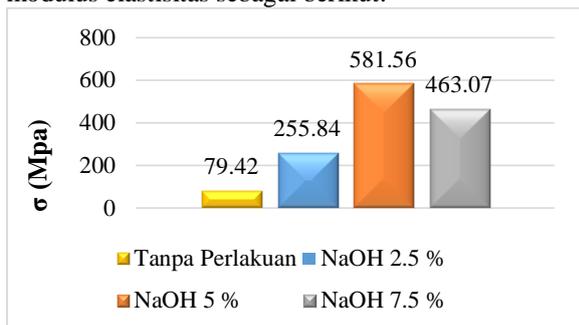
Tabel 4. Data Hasil Perhitungan Uji Tarik Serat Sisal Perlakuan 5% NaOH

Kode Spesimen	σ (MPa)	ϵ (%)	E (GPa)
B 1	402,89	10,40	3,87
B 2	450,80	7,20	6,26
B 3	1.078,00	11,20	9,63
B 4	364,00	8,00	4,6
B 5	921,20	11,60	7,94
B 6	490,00	8,00	6,13
B 7	364,00	8,00	4,55
RATA -RATA	581,56	9,2	6,14

Tabel 5. Data Hasil Perhitungan Uji Tarik Serat Sisal Perlakuan 5% NaOH

Kode Spesimen	σ (MPa)	ϵ (%)	E (GPa)
C 1	352,80	12,00	2,94
C 2	274,40	9,20	2,98
C 3	313,60	6,40	4,90
C 4	571,67	9,60	5,95
C 5	710,50	8,80	8,07
C 6	406,00	9,20	4,41
C 7	612,50	8,00	7,66
RATA -RATA	463,07	16,28	5,27

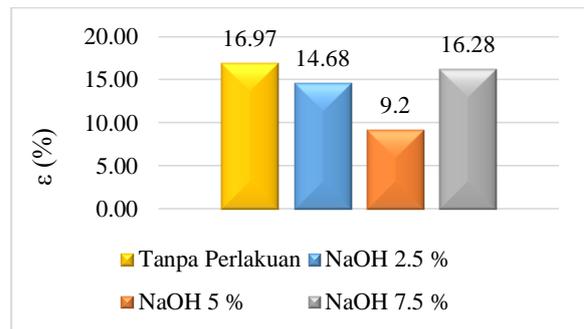
Berdasarkan data diatas, dapat dibuat grafik hubungan antara kekuatan tarik, regangan tarik dan modulus elastisitas sebagai berikut:



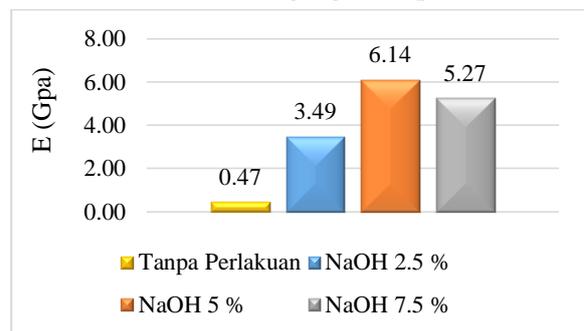
Gambar 5. Grafik Tegangan Tiap Perlakuan

Gambar 5 dan Gambar 6 menunjukkan bahwa serat sisal tanpa perlakuan mempunyai nilai rata-rata tegangan tarik sebesar 79,42 MPa dengan nilai rata-rata regangan sebesar 16,97% sedangkan untuk serat dengan perlakuan NaOH 2,5% selama 2 jam memiliki nilai rata-rata tegangan tarik sebesar 255,84 MPa dengan nilai rata-rata regangan sebesar 14,68%, serat dengan perlakuan NaOH 5% perendaman selama 2 jam memiliki kekuatan tarik rata-rata 581,56 MPa dan regangan rata-rata 9,2 %, perlakuan NaOH 7,5% perendaman selama 2 jam pada serat

memiliki kekuatan tarik rata-rata 463,07 MPa dan regangan rata-rata 16,28%.



Gambar 6. Grafik Regangan Tiap Perlakuan



Gambar 7. Grafik Modulus Elastisitas Tiap Perlakuan

Dari data di atas di dapat kekuatan tarik rata-rata tertinggi pada spesimen dengan perlakuan NaOH 5% perendaman 2 jam sebesar 581,56 MPa dan terendah pada spesimen tanpa perlakuan sebesar 79,42 MPa dan regangan rata-rata maksimal terdapat pada spesimen tanpa perlakuan sebesar 16,97 % dan terendah pada spesimen dengan perlakuan NaOH 5 % selama 2 jam sebesar 9,2 %. Kekuatan tarik serat dengan perlakuan 5% NaOH selama 2 jam lebih besar, ini terjadi karena lignin dan kotoran yang menempel pada permukaan serat terdegradasi oleh proses alkalisasi yang menyebabkan penyusutan diameter serat. Kemudian terjadi penurunan kekuatan tarik serat dengan perlakuan NaOH 7,5% selama 2 jam, ini dikarenakan semakin banyak NaOH serat menjadi rapuh karena putusya rantai selulosa dalam serat sehingga menyebabkan kekuatan tarik serat menurun.

Pada Gambar 6 dapat dilihat regangan maksimum serat tanpa perlakuan lebih besar dari pada serat dengan perlakuan 5% NaOH. Serat tanpa perlakuan meregang sebesar 16,97 % sedangkan serat dengan perlakuan 5% NaOH 2 jam meregang sebesar 9,2 %. Hal tersebut terjadi karena serat tanpa perlakuan mengalami patahan yang murni akibat saling terkelupasnya permukaan serat dan patahan yang terjadi pada serat dengan perlakuan 5% NaOH.

Pada Gambar 7 modulus elastisitas terendah terdapat pada serat tanpa perlakuan yaitu sebesar 0,47 GPa. Sedangkan modulus elastisitas tertinggi dimiliki oleh serat dengan perlakuan NaOH 5% perendaman 2 jam sebesar 6,14 GPa. Serat dengan

perlakuan NaOH 5% selama 2 jam memiliki modulus elastisitas yang lebih besar dikarenakan tegangan tarik dari serat juga besar. Hal ini sesuai dengan hukum *Hooke* bahwa modulus elastisitas berbanding lurus dengan tegangan dan berbanding terbalik dengan regangan.

4.2. Uji Tarik Komposit

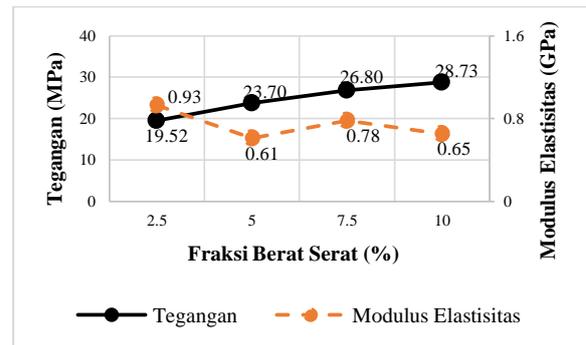
Setelah melakukan pengujian, didapatkan hasil dari kekuatan tarik komposit berupa tegangan maksimum, regangan maksimum dan modulus elastisitas komposit poliester diperkuat serat sisal yang ditampilkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Perhitungan Kekuatan Tarik Komposit

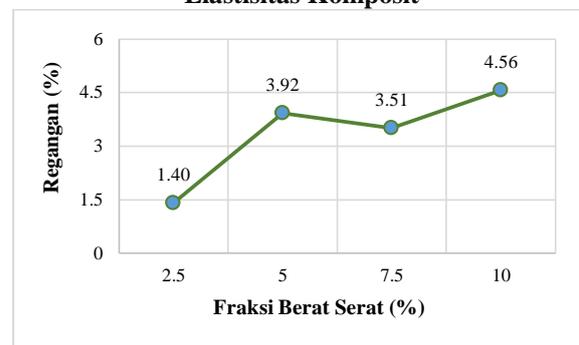
Pengujian Tarik Komposit							
Fraksi Berat Serat 0%							
Lo = 57 mm, Tebal = 3 mm, Lebar = 13 mm							
Kode Spesimen	ΔL (mm)	m (kg)	P (N)	A (mm ²)	σ (MPa)	ε (%)	E (GPa)
T0 1	0,5	48,00	470,40	39,00	12,06	0,88	1,38
T0 2	0,7	53,00	519,40	39,00	13,32	1,23	1,08
T0 3	0,6	56,00	548,80	39,00	14,07	1,05	1,34
Rata-Rata					13,15	1,05	1,26
Fraksi Berat Serat 2,5%							
Lo = 57 mm, Tebal = 3 mm, Lebar = 13 mm							
Kode Spesimen	ΔL (mm)	m (kg)	P (N)	A (mm ²)	σ (MPa)	ε (%)	E (GPa)
T25 1	1,3	79,00	774,20	39,00	19,85	2,28	0,87
T25 2	1,2	82,00	803,60	39,00	20,61	2,11	0,98
T25 3	1,6	72,00	705,60	39,00	18,09	2,81	0,64
Rata-Rata					19,52	1,40	0,93
Fraksi Berat Serat 5%							
Lo = 57 mm, Tebal = 3 mm, Lebar = 13 mm							
Kode Spesimen	ΔL (mm)	m (kg)	P (N)	A (mm ²)	σ (MPa)	ε (%)	E (GPa)
T5 1	2,1	100,00	980,00	39,00	25,13	3,68	0,68
T5 2	2,5	98,00	960,40	39,00	24,63	4,39	0,56
T5 3	2,1	85,00	833,00	39,00	21,36	3,68	0,58
Rata-Rata					23,70	3,92	0,61
Fraksi Berat Serat 7,5%							
Lo = 57 mm, Tebal = 3 mm, Lebar = 13 mm							
Kode Spesimen	ΔL (mm)	m (kg)	P (N)	A (mm ²)	σ (MPa)	ε (%)	E (GPa)
T75 1	1,7	119,00	1166,20	39,00	29,90	2,98	1,00
T75 2	1,9	84,00	823,20	39,00	21,11	3,33	0,63
T75 3	2,4	117,00	1146,60	39,00	29,40	4,21	0,70
Rata-Rata					26,80	3,51	0,78
Fraksi Berat Serat 10%							
Lo = 57 mm, Tebal = 3 mm, Lebar = 13 mm							
Kode Spesimen	ΔL (mm)	m (kg)	P (N)	A (mm ²)	σ (MPa)	ε (%)	E (GPa)
T10 1	2,1	110,00	1078,00	39,00	27,64	3,68	0,75
T10 2	3,4	121,00	1185,80	39,00	30,41	5,96	0,51
T10 3	2,3	112,00	1097,60	39,00	28,14	4,04	0,70
Rata-Rata					28,73	4,56	0,65

Berdasarkan data diatas terdapat grafik hubungan antara tegangan tarik, regangan tarik dan modulus elastisitas komposit terhadap fraksi berat serat. Berdasarkan Tabel 6 menunjukkan bahwa seiring bertambahnya fraksi berat serat maka kekuatan tarik komposit meningkat. Nilai rata – rata kekuatan tarik tertinggi komposit poliester berpenguat serat sisal yang diekstraksi dengan metode *water retting* ada pada fraksi berat serat 10% sebesar 28,73 MPa. Sedangkan nilai rata – rata kekuatan tarik terendah ada pada fraksi berat serat 0% sebesar 13,15 MPa. Pada 2,5% meningkat dengan rata-rata kekuatan tariknya sebesar 19,52 MPa. Kekuatan tarik pada fraksi berat serat 5% meningkat dengan rata-rata kekuatan tariknya sebesar

23,70 MPa. Kemudian fraksi berat serat 7,5% memiliki kekuatan tarik sebesar 26,80 MPa.



Gambar 8. Grafik Hubungan Fraksi Berat Serat Terhadap Tegangan Tarik dan Modulus Elastisitas Komposit



Gambar 9. Grafik Hubungan Fraksi Berat Serat Terhadap Regangan Tarik Komposit

Kekuatan tarik komposit poliester berpenguat serat sisal yang diekstraksi dengan metode *water retting* meningkat secara linier sejalan dengan meningkatnya fraksi berat serat karena semakin banyak serat berfungsi sebagai penguat, seperti ditunjukkan pada Gambar 8. Hal ini menunjukkan bahwa serat sisal yang diberi perlakuan NaOH 5% perendaman selama 2 jam mempengaruhi sifat tarik komposit dimana bersihnya permukaan serat dari *lignin* maka ikatan *interface* serat dan matriks menjadi kuat sehingga kekuatan tarik komposit menjadi tinggi dari keadaan awal 13,15 MPa menjadi 28,73 MPa.

Dalam Tabel 4.6 terlihat fraksi berat serat 0% memiliki regangan rata-rata sebesar 1,05%. Regangan rata-rata pada 2,5% sebesar 1,40%. Kemudian fraksi berat serat 5% regangan meningkat dengan nilai rata-rata sebesar 3,92%. Terjadi penurunan regangan pada fraksi berat serat 7,5% dengan nilai rata-rata sebesar 3,51%. Ini dikarenakan tidak terdapat *pullout* sehingga beban yang diberikan dapat ditahan oleh serat dan matriks menghasilkan tegangan yang tinggi sehingga regangan serat lebih pendek, maka regangan komposit menjadi rendah [4]. Nilai rata-rata regangan tertinggi pada fraksi berat serat 10% sebesar 4,56%.

4.3. Uji Lentur Komposit

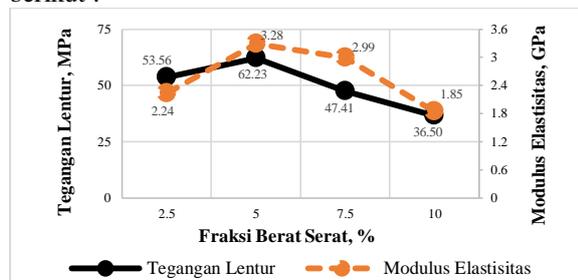
Setelah melakukan pengujian lentur komposit, didapatkan hasil berupa tegangan lentur, regangan

lentur dan modulus elastisitas komposit poliester diperkuat serat sisal yang ditampilkan pada Tabel 7.

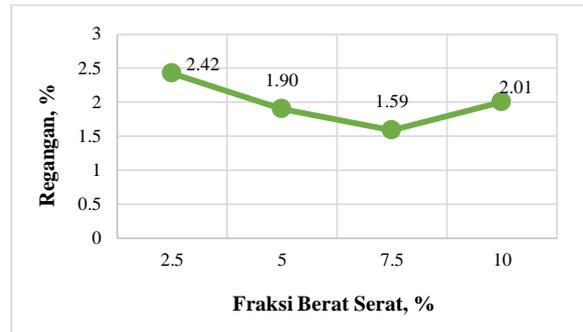
Tabel 7. Perhitungan Kekuatan Lentur Komposit

Penguujian Lentur Komposit						
Fraksi Berat Serat 0%						
Panjang Spesimen = 62 mm, Tebal = 3 mm, Lebar = 12,7 mm, Jarak Tumpuan = 48 mm.						
Kode Spesimen	□ (mm)	m (kg)	P (N)	σL (MPa)	εL (%)	E (GPa)
L0 1	2,60	15,66	153,47	96,67	2,03	4,759
L0 2	3,00	15,01	147,10	92,66	2,34	3,954
L0 3	3,00	15,06	147,59	92,97	2,34	3,967
Rata -Rata				94,10	2,24	4,226
Fraksi Berat Serat 2,5%						
Panjang Spesimen = 62 mm, Tebal = 3 mm, Lebar = 12,7 mm, Jarak Tumpuan = 48 mm.						
Kode Spesimen	□ (mm)	m (kg)	P (N)	σL (MPa)	εL (%)	E (GPa)
L25 1	3,40	7,93	77,71	48,95	2,66	1,843
L25 2	2,90	10,94	107,21	67,54	2,27	2,981
L25 3	3,00	7,16	70,17	44,20	1,95	2,263
Rata -Rata				53,56	2,29	2,362
Fraksi Berat Serat 5%						
Panjang Spesimen = 62 mm, Tebal = 3 mm, Lebar = 12,7 mm, Jarak Tumpuan = 48 mm.						
Kode Spesimen	□ (mm)	m (kg)	P (N)	σL (MPa)	εL (%)	E (GPa)
L5 1	1,80	7,50	73,50	46,30	1,41	3,292
L5 2	2,90	11,16	109,37	68,89	2,27	3,041
L5 3	2,60	11,58	113,48	71,49	2,03	3,519
Rata -Rata				62,23	1,90	3,284
Fraksi Berat Serat 7,5%						
Panjang Spesimen = 62 mm, Tebal = 3 mm, Lebar = 12,7 mm, Jarak Tumpuan = 48 mm.						
Kode Spesimen	□ (mm)	m (kg)	P (N)	σL (MPa)	εL (%)	E (GPa)
L75 1	2,10	6,46	63,31	39,88	1,64	2,431
L75 2	2,00	7,79	76,34	48,09	1,56	3,078
L75 3	2,00	8,79	86,14	54,26	1,56	3,473
Rata -Rata				47,41	1,59	2,994
Fraksi Berat Serat 10%						
Panjang Spesimen = 62 mm, Tebal = 3 mm, Lebar = 12,7 mm, Jarak Tumpuan = 48 mm.						
Kode Spesimen	□ (mm)	m (kg)	P (N)	σL (MPa)	εL (%)	E (GPa)
L10 1	2,50	6,08	59,58	37,53	1,95	1,922
L10 2	2,10	5,45	53,41	33,64	1,64	2,051
L10 3	3,10	6,21	60,86	38,34	2,42	1,583
Rata -Rata				36,50	2,01	1,852

Berdasarkan data diatas terdapat grafik hubungan antara tegangan lentur, regangan lentur dan modulus elastisitas terhadap fraksi berat serat sebagai berikut :



Gambar 10. Grafik Hubungan Fraksi Berat Serat Terhadap Kekuatan Lentur



Gambar 11. Grafik Hubungan Fraksi Berat Serat Terhadap Regangan Lentur Komposit

Pada Tabel 7 kekuatan lentur tertinggi komposit poliester yang diperkuat serat sisal diekstraksi dengan metode *water retting* ada pada fraksi berat serat 0% dengan nilai rata-rata sebesar 94,10 MPa. Sementara kekuatan lentur terendah ada pada fraksi berat serat 10% dengan nilai rata-rata sebesar 36,50 MPa. Pada fraksi berat 2,5% dengan nilai sebesar 53,56 MPa. Dimana pada fraksi berat serat 5% dan 7,5% masing-masing memiliki nilai kekuatan lentur rata-rata sebesar 62,23 MPa dan 47,41 MPa.

Kekuatan lentur komposit poliester berpenguat serat sisal yang diekstraksi dengan metode *water retting* berfluktuasi dan cenderung menurun dengan bertambahnya fraksi berat serat, seperti pada Gambar 10. Menurunnya kekuatan lentur disebabkan oleh arah dari serat, interaksi antara serat dan matriks serta adanya gelembung udara yang terperangkap saat pencetakan komposit [5].

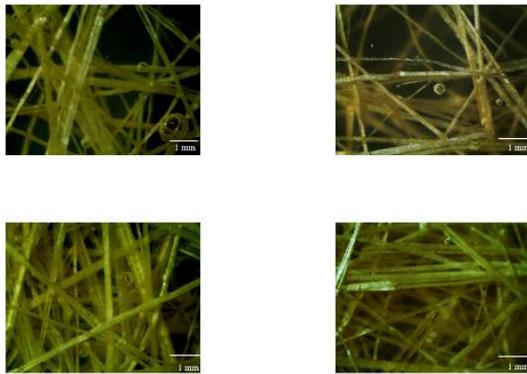
Pada Gambar 11 terlihat nilai regangan rata-rata tertinggi ada pada fraksi berat serat 2,5% dengan nilai 2,42%. Sedangkan nilai regangan terendah ada pada fraksi berat serat 7,5% dengan nilai regangan rata-rata sebesar 1,59%. Pada fraksi berat serat 0% memiliki nilai 2,24%. Dan pada fraksi berat serat 5% dan 10% masing-masing nilai regangan rata-ratanya sebesar 1,90% dan 2,01%.

4.4. Pengamatan Makro

4.4.1. Void

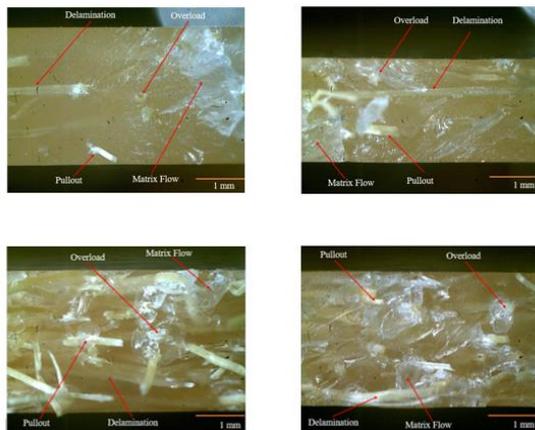
Spesimen pengujian dilakukan pengamatan makro untuk mengetahui adanya void. Sewaktu pencetakan komposit yang kurang hati – hati dapat menimbulkan rongga-rongga udara yang menyebabkan munculnya *void*. *Void* dapat menurunkan kekuatan sifat mekanik yang dimiliki oleh komposit tersebut karena *void* merupakan cacat pada material [6].

Pada fraksi berat serat 2,5% menunjukkan adanya *void* pada spesimen uji tarik dengan sebanyak 7 *void* dengan jumlah luas area sebesar 3,68%. Kemudian pada fraksi berat serat 5% terdapat 2 *void* dengan jumlah luas area sebesar 0,43%. Pada fraksi berat serat 7,5% terdapat 4 *void* dengan total luasan area sebesar 0,94%. Luas area *void* terkecil terdapat pada fraksi berat serat 10% sebanyak 1 *void* yaitu 0,14%.



Gambar 12. Foto Makro Void

4.4.2. Patahan



Gambar 13. Foto Makro Patahan

Pada patahan dari spesimen uji tarik dengan fraksi berat serat 2,5% terdapat *matrix flow* dengan luas area sekitar 35%. Ini dikarenakan kurangnya serat pada komposit sehingga nilai kekuatan tarik menjadi lebih rendah. Pada patahan komposit fraksi berat serat 5% terdapat *matriks flow* dengan luasan 30,88%. Selain *matrix flow* terdapat juga *delamination* dan *overload* pada patahan tersebut. Pada fraksi berat serat 7,5% terjadi patahan dengan luas area *matrix flow* sebesar 25,68%. Selain itu terdapat patahan berupa *pullout*, serta didominasi dengan patahan *delamination* dan *overload*. Kekuatan tarik tertinggi ada pada fraksi berat serat 10%, terlihat pada patahan *matrix flow* memiliki luas sekitar 23,53% dengan patahan *overload* dan *delamination* yang paling dominan sedangkan patahan *pullout* terlihat sedikit.

4.5. Pengamatan Mikro

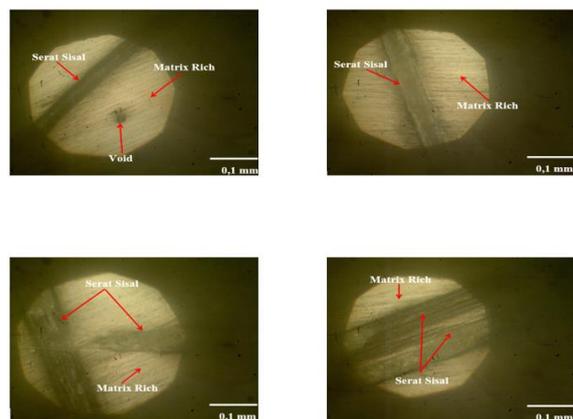
Setelah permukaan komposit dipoles dengan autosol dan kain bludru dilakukan proses pengamatan mikrostruktur menggunakan alat uji foto mikro perbesaran lensa 40x dan 100x yang dihubungkan ke komputer menggunakan aplikasi *Future Winjoe*. Dibawah ini merupakan hasil dari foto mikro komposit.

Hasil foto mikro menunjukkan bahwa komposit terdapat serat sisal, beberapa *void* dan *matrix rich* yaitu kekosongan serat di daerah matriks sehingga mengakibatkan komposit menjadi rapuh dan mudah

patah pada saat menerima beban. Ini disebabkan karena kurang banyaknya serat yang digunakan dan juga karena sebaran/distribusi serat dalam komposit tidak merata, sehingga pada saat pencetakan serat berkumpul secara terpisah, sehingga ruang kosong tanpa ikatan matriks dan serat masih banyak ditemui [7].



Gambar 14. Hasil Foto Mikro Perbesaran 40x



Gambar 15. Hasil Foto Mikro Perbesaran 100x

5. Kesimpulan

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

1. Kekuatan tarik rata-rata serat tunggal sisal yang diekstraksi dengan metode water retting sebesar 79,42 MPa setelah diberi perlakuan alkali NaOH 5% selama 2 jam memiliki nilai kekuatan tarik rata-rata sebesar 581,56 MPa atau terjadi peningkatan sebesar 632,25%.
2. Kekuatan tarik komposit poliester berpenguat serat sisal yang diekstraksi dengan metode water retting tertinggi terjadi pada fraksi berat serat 10% dengan nilai rata-rata sebesar 28,73 MPa dan terendah 13,15 MPa pada fraksi berat serat 0% atau terjadi peningkatan 118,48%.
3. Kekuatan lentur komposit poliester berpenguat serat sisal yang diekstraksi dengan metode water retting tertinggi 94,10 MPa terjadi pada fraksi berat serat 0% dan menurun sampai 36,50 MPa

pada fraksi berat serat 10% atau terjadi penurunan sebesar 61,21%.

Saran

Adapun saran yang didapat setelah melakukan penelitian ini sebagai berikut :

1. Penambahan variasi NaOH dan lama perendaman serat agar mendapatkan hasil yang terbaik.
2. Diharapkan untuk penelitian selanjutnya agar mampu membuat komposit variasi fraksi berat serat yang tinggi untuk mengetahui karakterisasi komposit yang lebih optimal.
3. Komposit yang dibuat menggunakan teknik *hand lay up* diperlukan ketelitian agar tidak terbentuknya gelembung udara yang terperangkap saat mencetak komposit yang dapat mempengaruhi kekuatan pada komposit.

Daftar Pustaka

- [1] Sahu, P., Gupta, M. K., 2017, *Sisal (Agave Sisalana) Fiber And Its Polymer-Based Composites*, Journal of Reinforced Plastics and Composites, pp. 1–22.
- [2] Nurmaulita, 2010, *Pengaruh Orientasi Serat Sabut Kelapa dengan Resin Polyester Karakteristik Papan Lembaran*, Tesis, Universitas Sumatra Utara, Medan.
- [3] Gapsari, F., dan Setyarini, P. H., 2010, *Pengaruh Fraksi Volume Terhadap Kekuatan Tarik Dan Lentur Komposit Resin Berpenguat Serbuk Kayu*, Jurnal Rekayasa Mesin Vol.1 No. 2, Teknik Mesin, Universitas Brawijaya.
- [4] Nesimnasi, J. J. S., Boimau, K., Pell, Y. M., 2015, *Pengaruh Perlakuan Alkali (NaOH) pada Serat Agave Cantula terhadap Kekuatan Tarik Komposit Polyester*, LONTAR Jurnal Teknik Mesin Undana, Vol. 02 No. 01, pp. 29-38.
- [5] Yusoff, M.Z.M., Salit, M.S., 2010, *Mechanical Properties of Short Random Oil Palm Fibre Reinforced Epoxy Composites*, *Sains Malaysiana*, Vol. 39 No.1, pp. 87-92
- [6] Bahtiar, M., Sutjahjono, H., Dwilaksana D., 2014, *Analisa Variasi Fraksi Volume Filler Terhadap Sifat Mekanik Komposit Laminat Matriks Polyester Berpenguat Serat Sisal*, Artikel Ilmiah Hasil Penelitian Mahasiswa.
- [7] Astika, I M. dan Dwijana, I G. K., 2014, *Karakteristik Sifat Tarik Dan Mode Patahan Komposit Polyester Berpenguat Serat Tapis Kelapa*, Jurnal Dinamika Teknik Mesin, Vol. 4 No. 2, ISSN: 2088-088X



Gede Himawan Putra menyelesaikan program studi sarjana Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2017 sampai 2021. Ia menyelesaikan program studi sarjana dengan judul penelitian *Karakteristik Kekuatan Tarik dan Lentur Komposit Berpenguat Serat Sisal Yang Diekstraksi Dengan Metode Water Retting*. Topik penelitian yang diminati adalah rekayasa manufaktur, material dan komposit.

Analisis Dan Audit Energi Listrik Di Hotel Taman Wisata Denpasar

Komang Wiwik D., I.G.B Wijaya Kusuma, I Gusti Ngurah Priambadi
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Tujuan dari penelitian adalah menghitung dan menganalisa beban pendinginan di hotel dan melakukan proses audit energi agar dihasilkan beban listrik optimum di hotel Taman Wisata Denpasar, Bali. Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah teknik observasi dan wawancara untuk mendapatkan data yang diperlukan dalam menghitung beban pendinginan dan IKE. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan mengenai analisis dan audit energi listrik di Hotel Taman Wisata Denpasar, dapat diambil kesimpulan bahwa (1) Beban pendinginan aktual bangunan Hotel Taman Wisata Denpasar adalah 66.304,806 Watt. Nilai OTTV yang dihasilkan dari bangunan Hotel Taman Wisata Denpasar seluas 779 m² adalah 85,167 watt/ m². Nilai yang didapat menunjukkan bahwa Hotel Taman Wisata Denpasar memerlukan suatu system pendinginan bangunan agar dapat mengurangi beban pendinginan (*cooling load*) (2) Audit energi yang dilakukan di Hotel Taman Wisata Denpasar adalah audit energi awal. Nilai IKE rata-rata pada tahun 2018 sebesar 2,46 Kwh/m²/bulan. Oleh karena itu, intensitas konsumsi listrik Hotel Taman Wisata Denpasar termasuk kategori cukup efisien. Saran untuk peneliti selanjutnya yaitu (1) hasil penelitian ini bisa digunakan sebagai bahan perbandingan dan pertimbangan untuk penelitian selanjutnya dengan membahas pola hidup pengunjung saat di hotel (2) diharapkan menambah objek penelitian yaitu antara beberapa hotel (3) perhitungan analisis sebaiknya menggunakan data nyata kamar beroperasi setiap harinya.

Kata kunci: *Beban Pendinginan, OTTV, IKE*

Abstract

The purpose of this research was to calculate and analyze the cooling load in the hotel and do an energi audit process in order to generate an optimum electric load at the Taman Wisata Denpasar Hotel, Bali. The data collection methods used in this study were observation and interview to get the data needed in calculating the cooling load and IKE. Based on the research that has been done regarding the analysis and audits of electrical energy at the Taman Wisata Denpasar Hotel, it can be concluded that (1) the actual cooling load of the Taman Wisata Denpasar Hotel building was 66.304,806 Watts. The OTTV value from the Taman Wisata Denpasar Hotel building covering an area of 779 m² was 85,167 Watts/m². These value indicated that the Taman Wisata Denpasar Hotel needs a building cooling system in order to reduce the cooling load (2) The energi audit carried out at Hotel Taman Wisata Denpasar was an initial energi audit. The average IKE value in 2018 was 2,46 Kwh /m²/month. Therefore, the intensity of electricity consumption in the Taman Wisata Denpasar Hotel was quite efficient. Suggestions for the next researcher were (1) the results of this study can be used as a comparison and consideration for further research by discussing the lifestyle of visitors while stay at the hotel (2)to add the object of research such as several hotels (3) to use real room data that was operated every day for calculation analysis.

Keywords: *Cooling Load, OTTV, IKE*

1. Pendahuluan

Di masa pandemi Covid-19 saat ini dimana kunjungan wisatawan menurun secara drastis, pemerintah Provinsi Bali berupaya untuk menggalakkan kedatangan wisatawan nusantara dengan menyiapkan sarana dan prasarana penunjang pariwisata yang mendukung kegiatan tersebut. Salah satu sarana pendukung adalah hotel kelas melati hingga bintang 3 sesuai budget dari wisatawan nusantara yang berkunjung ke Bali. Hotel Taman Wisata, sebagai hotel yang telah berdiri semenjak tahun 1980 an adalah hotel kelas Melati yang tetap eksis meskipun di tengah situasi pandemi. Hal ini dikarenakan pangsa pasarnya tidak berubah yakni wisatawan nusantara, dimana tingkat hunian rerata adalah 65% per tahunnya. Namun seiring waktu terjadi peningkatan tarif dasar listrik di tengah menurunnya jumlah wisatawan nusantara ke Bali. Oleh sebab itu maka perlu dilakukan analisa dan audit pemakaian energi listrik agar operasional hotel

tetap berjalan tanpa harus menambah beban hotel ataupun menaikkan tarif jasa sewa kamar kepada wisatawan yang menginap.

2. Dasar Teori

2.1. Intensitas Konsumsi Listrik

Intensitas Konsumsi Energi (IKE) adalah istilah yang digunakan untuk menyatakan besarnya jumlah penggunaan energi tiap meter persegi luas kotor (*gross*) bangunan dalam suatu kurun waktu tertentu. Nilai IKE merupakan perbandingan antara total konsumsi energi (Kwh) dengan luas bangunan (m²). Nilai IKE dapat dicari menggunakan rumus berikut [2].

$$IKE = \frac{\text{total konsumsi energi (kWh)}}{\text{luas lantai total (m}^2\text{)}} \quad (1)$$

2.2. Overall Thermal Transfer Value (OTTV)

OTTV adalah suatu nilai perpindahan termal menyeluruh untuk setiap bidang selubung luar bangunan gedung dengan orientasi tertentu. Fungsi

dari perhitungan OTTV ini adalah untuk mengukur perolehan panas eksternal yang ditransmisikan melalui satuan luas selubung bangunan (W/m^2). Berdasarkan SNI 03-6389-2011 selubung bangunan nilai OTTV ini diatur oleh SNI 03-6389-2011 dengan maksimum sebesar $35 W/m^2$. OTTV untuk setiap bidang dinding luar bangunan gedung dengan orientasi tertentu, harus dihitung melalui persamaan [3]:

$$OTTV = \frac{\text{beban pendingin (Watt)}}{\text{luas lantai (m}^2\text{)}} \quad (2)$$

2.3. Beban pendinginan

a. Beban pendingin eksternal

- Beban pendinginan melalui dinding dengan orientasi tertentu

$$Q = \frac{A \Delta T}{r_{tot}} \quad (3)$$

Dimana:

- Q = Beban pendinginan (Btu/h r)
- A = Luasan dinding/kaca (ft^2)
- r = hambatan termal ($hr^0F ft^2 / Btu$)
- ΔT = Beda temperatur luar ruangan dan dalam ruangan (T)

- Beban pendinginan akibat infiltrasi
Beban pendinginan infiltrasi sensibel:

$$Q = A \times CFM \times 1,08 \times \Delta T \quad (4)$$

Beban pendinginan infiltrasi laten:

$$Q = A \times CFM \times 0,68 \times \Delta W \quad (5)$$

- Beban pendinginan melalui ventilasi
Beban pendinginan melalui ventilasi secara sensibel:

$$Q = A \times CFM \times 1,08 \times \Delta T$$

Beban pendinginan melalui ventilasi secara laten:

$$Q = A \times CFM \times 0,68 \times \Delta W$$

Dimana:

- A = Luasan infiltrasi (m^2)
- CFM = Infiltrasi
- ΔW = Beda kelembaban udara luar ruangan dengan dalam ruangan

b. Beban pendingin internal

- Beban pendinginan akibat pengunjung/penghuni
 $Q = \text{jumlah orang} \times \text{k calor manusia} \times \text{koreksi faktor kelompok}$ (6)
- Beban pendinginan akibat pemakaian lampu
 $Q = \text{Jumlah Watt} \times \text{Faktor Balanst lampu} \times 3,4 \times \text{divercity factor} \times \text{storage faktor}$ (7)
- Beban pendingin akibat peralatan elektronik
 $Q = \text{jumlah watt} \times \text{faktor koefisien peralatan}$ (8)

3. Metode Penelitian

3.1. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan September-Desember 2020. Lokasi Penelitian ini bertempat di hotel Taman Wisata, Kota Denpasar, Bali.

3.2. Metode Pengumpulan Data

1. Observasi gedung untuk menghitung OTTV bangunan

2. Observasi untuk memperoleh data beban terpasang pada bangunan hotel.
3. Wawancara dengan pihak teknisi dan manajemen hotel untuk memperoleh data tambahan berupa beban terpasang pada setiap ruang kamar, data luas ruangan dan data kondisi lingkungan dalam 5 tahun terakhir.
4. Dokumentasi dilakukan untuk memperoleh data tagihan biaya listrik dan daya listrik melalui dokumen rekening tagihan listrik.

3.3. Variabel Penelitian dan Teknik Pengumpulan Data

Variabel dalam penelitian ini adalah total konsumsi daya energi listrik yang digunakan, luas lantai, intensitas konsumsi listrik (IKE), OTTV dan perilaku penggunaan listrik. Total konsumsi daya energi listrik yang digunakan dan luas lantai diperoleh dari dokumentasi selama 5 tahun terakhir. Nilai IKE dan OTTV diperoleh melalui perhitungan. Adapun untuk memperoleh data variabel tersebut maka diperlukan data lapangan dan hasil observasi untuk seluruh kamar. Setelah itu, peluang efisiensi diidentifikasi dengan membandingkan nilai IKE dan OTTV dengan standar yang digunakan dalam Penelitian ini menggunakan Permen ESDM No 13/2012 dan Pergub DKI No. 156/2012 yang mengacu pada ASEAN USAID 1987 tentang Standar IKE yaitu $240Kwh/m^2$ /tahun pada gedung komersial dan nilai OTTV ini diatur oleh SNI 03-6389-2011 dengan maksimum sebesar $35 W/m^2$.

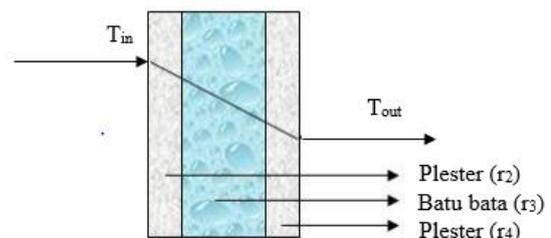
Jika nilai IKE dan OTTV lebih kecil dibandingkan standar, maka gedung tersebut dapat dikatakan efisien dalam penggunaan energi. Jika nilai IKE lebih besar dibandingkan standar, maka gedung tersebut dapat dikatakan tidak efisien dalam penggunaan energi sehingga perlu melakukan beberapa perubahan dalam manajemen listrik.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Hasil Perhitungan

4.1.1. Perhitungan Beban Pendinginan

Nilai hambatan termal pada dinding tergantung pada material yang digunakan. Pada dinding yang digunakan pada Hotel Taman Wisata, material penyusun dinding adalah plester dan batu bata. Hambatan termal dapat diilustrasikan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Hambatan termal pada dinding Hotel Taman Wisata Denpasar

Beban pendinginan pada dinding dapat dicari menggunakan rumus persamaan (3)

$$Q = \frac{A \Delta T}{r_{tot}}$$

Dengan r tot yang merupakan hambatan termal total untuk dinding adalah

$$r_{tot} = r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + r_5$$

$$r_{tot} = 0,25 + 0,1 + 0,8 + 0,1 + 0,68$$

$$r_{tot} = 1,25 \text{ hr}^0\text{F ft}^2/\text{Btu}$$

keterangan:

- r₁ = Hambatan termal Lapisan udara luar
- r₂ = Hambatan termal Plester, butiran pasir dan kerikil 16 mm
- r₃ = Hambatan termal Batu bata setebal 90 mm
- r₄ = Hambatan termal Plester, butiran pasir dan kerikil 16 mm
- r₅ = Hambatan termal Lapisan udara dalam

Sehingga

Tabel 1. Beban Pendingin pada Dinding

Lokasi	r _{tot} (hr ⁰ F ft ² / Btu)	A (ft ²)	T _D (°F)	T _L (°F)	ΔT (°F)	Q (Btu/hr)
Dinding Barat	1,25	904,16 8	87,62	109,22	21,60	15.624,02 3
Dinding Timur	1,25	904,16 8	86,18	109,22	23,04	16.665,62 5
Dinding Utara	1,25	904,16 8	86,36	109,22	22,86	16.535,42 4
Dinding Selatan	1,25	904,16 8	86,90	109,22	22,32	16.144,82 4

1. Perhitungan beban pendinginan langit-langit
Beban pendinginan pada langit-langit dapat dicari menggunakan rumus persamaan (3)

$$Q = \frac{A \Delta T}{r_{tot}}$$

Dengan r tot yang merupakan hambatan termal total untuk langit-langit adalah

$$r_{tot} = r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + r_5$$

$$r_{tot} = 0,25 + 0,1 + 0,11 + 0,1 + 0,68$$

$$r_{tot} = 1,24 \text{ hr}^0\text{F ft}^2/\text{Btu}$$

keterangan:

- r₁ = Hambatan termal Lapisan udara luar
- r₂ = Hambatan termal Plester, butiran pasir dan kerikil 16 mm
- r₃ = Hambatan termal beton, butiran pasir dan kerikil 100 mm
- r₄ = Hambatan termal Plester, butiran pasir dan kerikil 16 mm
- r₅ = Hambatan termal Lapisan udara dalam

Sehingga

$$Q = \frac{A \Delta T}{r_{tot}}$$

$$Q_{langit-langit} = \frac{8.385,09 \text{ ft}^2 \cdot (109,22 - 89,96)^0\text{F}}{1,24 \text{ hr}^0\text{F ft}^2/\text{Btu}}$$

$$Q_{langit-langit} = \frac{8.385,09 \text{ ft}^2 \times 19,26^0\text{F}}{1,24 \text{ hr}^0\text{F ft}^2/\text{Btu}}$$

$$Q_{langit-langit} = 130.239,382 \text{ Btu/hr}$$

Beban pendinginan pada lantai dapat dicari menggunakan rumus persamaan (3)

$$Q = \frac{A \Delta T}{r_{tot}}$$

Dengan r tot yang merupakan hambatan termal total untuk dinding adalah

$$r_{tot} = r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + r_5$$

$$r_{tot} = 0,25 + 12,50 + 0,4774 + 0,10 + 0,68$$

$$r_{tot} = 14,007 \text{ hr}^0\text{F ft}^2/\text{Btu}$$

keterangan:

- r₁ = Hambatan termal Lapisan udara luar
- r₂ = Hambatan termal tanah
- r₃ = Hambatan termal Beton, pasir dan kerikil setebal 434 mm
- r₄ = Hambatan termal Plester, butiran pasir dan kerikil 16 mm
- r₅ = Hambatan termal Lapisan udara dalam

Sehingga

$$Q = \frac{A \Delta T}{r_{tot}}$$

$$Q_{lantai} = \frac{8.385,09 \text{ ft}^2 \cdot (109,22 - 86)^0\text{F}}{14,007 \text{ hr}^0\text{F ft}^2/\text{Btu}}$$

$$Q_{lantai} = \frac{8.385,09 \text{ ft}^2 \times 23,22^0\text{F}}{14,007 \text{ hr}^0\text{F ft}^2/\text{Btu}}$$

$$Q_{lantai} = 13.899,924 \text{ Btu/hr}$$

Beban pendinginan akibat infiltrasi pada pintu
Beban pendinginan akibat infiltrasi pada pintu terdiri dari infiltrasi sensible dan laten.

Luasan infiltrasi pada pintu tipe 1 = 2 m x 0,8 m (1 buah) = 1,6 m² = 17,223 ft².

W0= kelembaban udara luar ruangan = 0,0205 (lb/lb udara kering).

W1 = kelembaban udara dalam ruangan = 0,018 (lb/lb udara kering).

Infiltrasi sensible

Infiltrasi lewat pintu adalah 10,0 CFM/ ft²

$$Q = A \times \text{CFM} \times 1,08 \times \Delta T$$

- Q = 17,223 ft² x 10/ ft² x 1,08 Btu/hr⁰F x (109,22 - 86,36)⁰F
- Q = 17,223 ft² x 10/ ft² x 1,08 Btu/hr⁰F x 22,86⁰F
- Q = 4.252,152 Btu/h r

Infiltrasi laten

Infiltrasi lewat pintu adalah 10,0 CFM/ ft²

$$Q = A \times \text{CFM} \times 0,68 \times \Delta W$$

- Q = 17,223 ft² x 10/ ft² x 0,68 Btu/hr⁰F x (0,0205-0,018) lb/lb_{udara kering}
- Q = 17,223 ft² x 10/ ft² x 0,68 Btu/hr⁰F x 0,0025 lb/lb_{udara kering}
- Q = 0,293 Btu/h r

Beban pendinginan akibat infiltrasi pada jendela terdiri dari infiltrasi sensible dan laten. Udara ventilasi yang diperlukan senilai

- CFM = 10,0
- A = 6,5 ft²
- W0= kelembaban udara luar ruangan = 0,0205 (lb/lb udara kering).
- W1 = kelembaban udara dalam ruangan = 0,018 (lb/lb udara kering).

Infiltrasi sensible

Infiltrasi lewat jendela adalah 10,0 CFM/ ft²

- $Q = A \times \text{CFM} \times 1,08 \times \Delta T$
- $Q = 6,5 \text{ ft}^2 \times 10 / \text{ft}^2 \times 1,08 \text{ Btu} / \text{hr}^{\circ}\text{F} \times (109,22 - 86,36)^{\circ}\text{F}$
- $Q = 6,5 \text{ ft}^2 \times 10 / \text{ft}^2 \times 1,08 \text{ Btu} / \text{hr}^{\circ}\text{F} \times 22,86^{\circ}\text{F}$
- $Q = 1.604,772 \text{ Btu} / \text{h r}$

Infiltrasi laten

- $Q = A \times \text{CFM} \times 0,68 \times \Delta W$
- $Q = 6,5 \text{ ft}^2 \times 10 / \text{ft}^2 \times 0,68 \text{ Btu} / \text{hr}^{\circ}\text{F} \times (0,0205 - 0,018) \text{ lb} / \text{lb}_{\text{udara kering}}$
- $Q = 6,5 \text{ ft}^2 \times 10 / \text{ft}^2 \times 0,68 \text{ Btu} / \text{hr}^{\circ}\text{F} \times 0,0025 \text{ lb} / \text{lb}_{\text{udara kering}}$
- $Q = 0,11 \text{ Btu} / \text{h r}$

Beban pendinginan karena penghuni.

Beban pendinginan karena penghuni terdiri dari beban pendinginan secara sensible dan laten. Setiap bangunan dihuni oleh dua orang. Beban ini dapat dihitung menggunakan rumus:

$$Q = \text{jumlah orang} \times \text{kolor manusia} \times \text{koreksi faktor kelompok} \quad (9)$$

a. Beban pendinginan sensible

$$Q = \text{jumlah orang} \times \text{kolor sensible manusia} \times \text{koreksi faktor kelompok}$$

- $Q = 25 \times 220 \text{ Btu} / \text{hr} \times 0,8$
- $Q = 4.400 \text{ Btu} / \text{hr}$

b. Beban pendinginan secara laten

$$Q = \text{jumlah orang} \times \text{kolor laten manusia} \times \text{koreksi faktor kelompok}$$

- $Q = 25 \times 235 \text{ Btu} / \text{hr} \times 0,8$
- $Q = 4.700 \text{ Btu} / \text{hr}$

2. Beban pendinginan akibat pemakaian lampu

Beban pendinginan akibat lampu dapat dicari dengan menggunakan rumus

$$Q = \text{Jumlah watt} \times 1,25 \times 3,4 \times \text{diversity faktor} \times \text{storage faktor}$$

- Jumlah lampu neon = 40 buah \times 20 watt = 800 watt
- Faktor balanst neon = 1,25
- Faktor konversi dari Btu/hr ke watt = 3,4
- Faktor diversitas = 0,85
- Faktor penyimpanan = 0,87

sehingga

$$Q = 800 \text{ watt} \times 1,25 \times 3,4 \text{ Btu} / \text{hr watt} \times 0,85 \times 0,87 = 2.514,3 \text{ Btu} / \text{hr}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, beban pendinginan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Beban Pendinginan bangunan Hotel Taman Wisata Denpasar

No	Lokasi Peninjauan	Q (Btu/hr)
1	Dinding Barat	15.624,023
2	Dinding Timur	16.665,625
3	Dinding selatan	16.535,424
4	Dinding utara	16.144,824
5	Langit-langit	130.239,382
6	Lantai	13.899,924
7	Infiltrasi sensibel	4.252,152
8	Infiltrasi laten	0,293
9	Vetilasi sensibel	1.604,772
10	Ventilasi laten	0,111

11	Manusia sensibel	4.400,000
12	Manusia laten	4.700,000
13	Peralatan lampu	2.514,300
	Total	226.580,780

(Sumber: Data diolah sendiri, 2020)

Total beban pendingin yang dihasilkan oleh bangunan tersebut kemudian diubah dari Btu/hr ke dalam bentuk watt menggunakan faktor konversi

$$\text{Beban pendingin (W)} = \frac{231.148,571 \text{ Btu} / \text{hr}}{3,4152 \text{ Btu} / \text{hr Watt}} = 66.304,806 \text{ Watt}$$

$$\text{OTTV} = \frac{\text{beban pendinginan}}{A}$$

$$\text{OTTV} = \frac{66.304,806 \text{ Watt}}{779 \text{ m}^2} = 85,167 \text{ Watt} / \text{m}^2$$

Beban pendinginan aktual bangunan kamar di Hotel Taman Wisata Denpasar Selatan adalah 66.304,806 Watt sehingga nilai OTTV yang dihasilkan dari bangunan Hotel Taman Wisata Denpasar seluas 779 m² adalah 85,167 watt/ m².

4.1.2. Perhitungan Intensitas Konsumsi Energi

Berdasarkan data konsumsi energi dan luasan bangunan, maka besarnya Intensitas Konsumsi Energi Hotel Taman Wisata Denpasar selama satu tahun dengan periode bulan Januari 2018 s/d Desember 2018 dapat dihitung. Berikut ini merupakan nilai Intensitas Konsumsi Energi Hotel Taman Wisata Denpasar selama satu tahun dengan periode bulan Januari 2018 s/d Desember 2018 :

Tabel 3. Total Konsumsi dan Nilai IKE Hotel Taman Wisata Denpasar di Tahun 2018

No	Bulan	Total konsumsi energi (Kwh/ bulan/kamar)	IKE (Kwh/ m ² /bulan/kamar)
1	Januari	39,61	2,83
2	Februari	35,80	2,56
3	Maret	27,50	1,96
4	April	34,84	2,49
5	Mei	58,49	4,18
6	Juni	30,17	2,15
7	Juli	30,48	2,18
8	Agustus	49,19	3,51
9	September	24,10	1,72
10	Oktober	26,50	1,89
11	November	31,35	2,24
12	Desember	25,43	1,82
	Rata-rata	34,45	2,46

(Sumber: Data diolah sendiri, 2020)

4.2. Pembahasan

Beban pendinginan aktual bangunan Hotel Taman Wisata Denpasar adalah 66.304,806 Watt. Oleh karena itu, nilai OTTV yang dihasilkan dari bangunan Hotel Taman Wisata Denpasar dengan luas 779 m² adalah 85,167 watt/ m². Nilai perpindahan termal menyeluruh ini lebih besar dibandingkan nilai maksimum yang ditetapkan. Nilai yang didapat menunjukkan bahwa secara mekanis,

bangunan Hotel Taman Wisata Denpasar memerlukan suatu system pendinginan udara agar dapat memenuhi kondisi nyaman bagi penghuninya seperti menggunakan *air conditioning*. Hal ini disebabkan karena dibutuhkan banyak energi untuk mendinginkan bangunan Hotel Taman Wisata Denpasar. Namun, pemakaian *air conditioning* dapat menyebabkan efek *urban heat island* dan pemanasan global. Oleh karena itu, nilai OTTV dapat dikurangi dengan cara melakukan optimasi pada perbandingan luas jendela dengan luas seluruh dinding luar (WWR) maupun perancangan material selubung bangunan.

Audit energi yang dilakukan di Hotel Taman Wisata Denpasar adalah audit energi awal. Hal ini dilakukan untuk menghitung potensi pemborosan di hotel tersebut dalam menggunakan energi listrik. Audit energi awal diawali dengan mengumpulkan data penggunaan energi listrik sepanjang tahun 2018 lalu membandingkan data tersebut dengan luas per kamar pada Hotel Taman Wisata Denpasar sebesar 14 m². Total energi yang dikonsumsi oleh Hotel Taman Wisata Denpasar bervariasi untuk setiap bulannya. Hal ini disebabkan karena jumlah pengunjung yang datang menginap di Hotel Taman Wisata Denpasar tidak menentu setiap bulannya.

Berdasarkan Tabel 3, energi listrik terbanyak digunakan pada bulan Mei yaitu sebesar 58,49 Kwh sedangkan energi listrik paling sedikit digunakan pada bulan September yaitu sebesar 24,10 Kwh. Oleh karena itu, nilai IKE tertinggi terdapat pada bulan Mei yaitu sebesar 4,18 Kwh/m² dan nilai IKE terendah terdapat pada bulan September yaitu sebesar 1,72 Kwh/m². Oleh karena itu, nilai IKE rata-rata pada tahun 2018 sebesar 2,46 Kwh/m²/bulan. Bila dibandingkan dengan nilai IKE untuk gedung tidak ber AC, Hotel Taman Wisata Denpasar termasuk kategori cukup efisien karena nilai IKE yang dihasilkan berada di rentang kategori sangat efisien yaitu kurang dari (1,67 - 2,5) kWh/m²/bulan. Berdasarkan perhitungan di atas, maka audit rinci tidak perlu dilakukan. Hal ini disebabkan karena pemanfaatan penggunaan listrik sudah cukup efisien.

5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan mengenai analisis dan audit energi listrik di Hotel Taman Wisata Denpasar, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Beban pendinginan aktual bangunan Hotel Taman Wisata Denpasar adalah 66.304,806 Watt. Nilai OTTV yang dihasilkan dari bangunan Hotel Taman Wisata Denpasar seluas 779 m² adalah 85,167 watt/m². Nilai yang didapat menunjukkan bahwa Hotel Taman Wisata Denpasar memerlukan suatu system pendinginan bangunan agar dapat mengurangi beban pendinginan (*cooling load*).
2. Audit energi yang dilakukan di Hotel Taman Wisata Denpasar adalah audit energi awal. Nilai IKE rata-rata pada tahun 2018 sebesar 2,46 Kwh/m²/bulan. Oleh karena itu, intensitas

konsumsi listrik Hotel Taman Wisata Denpasar termasuk kategori cukup efisien.

Daftar Pustaka

- [1] Thumann, A. & William, Y., 2003, *Handbook Of Energi Audits Sixth Editio*, Georgia: The Fairmont Press.
- [2] Departemen Pendidikan Nasional, 2006, *Teknik Penghematan Energi Pada Rumah Tangga dan Gedung*, Jakarta: DPN.
- [3] Gendo, R., Priatman, J. & Loekito, S., 2015, *Analisa Konservasi Energi Selubung Bangunan Berdasarkan SNI 03-6389-2011*, Studi Kasus: Gedung P1 dan P2 Universitas Kristen Petra Surabaya. *Dimensi Utama Teknik Sipil*, 2(1), pp. 1-7

	<p>Ni Komang Wiwik Darmayanti menyelesaikan pendidikan di SMA Negeri 6 Denpasar, pada tahun 2016, kemudian melanjutkan program sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana pada tahun 2017, dan menyelesaikannya pada tahun 2021.</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan audit energi dan manajemen energi.</p>	

Profil Temperatur Pada *Dual Reactor Fluidized Bed (DRFB)* Dengan Bahan Bakar Sampah Kota

Abdurrahman Muttaqin, I Nyoman Suprpta Winaya, I Putu Lokantara
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Perkembangan yang masif akan jumlah dari wisatawan di Bali, jumlah sampah yang kian meningkat pun tidak dapat terbendung lagi. Hal ini dapat membahayakan lingkungan dan ekosistem di sekitarnya. Pemanfaatan teknologi gasifikasi, sampah dapat dimanfaatkan untuk konversi bahan bakar padat menjadi bahan bakar gas yang dapat dibakar (CO , CH_4 , dan H_2). Sebuah cara memanfaatkan gasifikasi berbasis teknologi yang banyak saat ini adalah sistem fluidisasi (*Fluidized Bed*), yang merupakan salah satu teknologi terbaik untuk mengalihkannya pada jenis-jenis pembakaran baik itu digunakan untuk limbah, biomasa, sampah, maupun bahan bakar fosil berkalori dengan rendah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa temperatur pada gasifikasi *dual reactor fluidized bed* berbahan bakar sampah kota. Bahan bakar yang dipakai adalah sampah yang sudah dipelet dan dikeringkan. Adapun pada penelitian ini menggunakan empat variasi kecepatan superficial, antara lain kecepatan superficial 7, 8, 9, 10 m/s. Pada hasil temperature di reactor gasifikasi didapat rata-rata temperatur $437^\circ C$ dan pada reactor pembakaran didapat rata-rata temperature $517,8^\circ C$. Pada penelitian ini didapat pula nilai laju konversi bahan bakar ($L'b$), antara lain 7,187, 5,631, 4,717, 4,436 kg/jam.

Kata kunci: Gasifikasi, Dual Reaktor, Sampah Kota, Kecepatan Superfisial, Fluidized Bed

Abstract

Massive development in the number of tourists in Bali, the ever-increasing amount of waste cannot be stopped. This can endanger the environment and the surrounding ecosystem. By utilizing gasification technology, waste can be used for the conversion of solid fuels to combustible gases (CO , CH_4 , and H_2). One way to take advantage of the gasification technology that is currently being developed is the fluidization system (*Fluidized Bed*), which is one of the best technologies for converting various types of fuels, including waste, waste, biomass or low-calorie fossil fuels. This research aims to analyze the gasification performance of a dual fluidized bed reactor fueled by municipal waste with superficial speed variations. The fuel used is waste that has been pelleted and dried. This study uses four variations of superficial velocity, including superficial velocity 7, 8, 9, 10 m/s. The result of the temperature in the gasification reactor obtained an average temperature of $437^\circ C$ and in the combustion reactor an average temperature of $517,8^\circ C$ was obtained. In this study, the value of the fuel conversion rate ($L'b$) was also obtained, which are 7,187, 5,631, 4,717, 4,436 kg/hour.

Keywords: Gasification, Dual Reactor, City Waste, Superficial Speed, Fluidized Bed

1. Pendahuluan

Akses wisata yang tidak dapat terbendung lagi, menyebabkan salah satu pulau terbaik di Indonesia, yaitu Bali menjadi askes destinasi wisata terkenal, tidak hanya di dalam negeri, namun juga di seluruh dunia, hal tersebut, menyebabkan masifnya pertumbuhan akan konsumsi bahan rumah tangga yang akan menghasilkan sampah terus bertambah setiap harinya tanpa henti. Dengan acuan data dari kota Denpasar, dimana pada tahun 2019 saja sebanyak 1,5 juta ton setiap tahunnya diproduksi dari kota ini. Jika hal ini terus terjadi tanpa ada penanganan yang serius, dapat membahayakan lingkungan dan ekosistem disekitarnya. Sampah dapat dimanfaatkan dengan mengkonversinya menjadi bahan bakar cair, gas, dan listrik. Teknologi yang memanfaatkannya adalah teknologi gasifikasi. Teknologi gasifikasi merupakan suatu mekanisme dimana bahan bakar dialihkan menjadi gas pembakaran mudah bakar melalui suatu sistem bahan bakar dimana suplai udara tersebut terbatas pada 20% - 40%. [1]. Efisiensi yang dapat dicapai teknologi gasifikasi dengan menggunakan bahan bakar sampah sekitar 40% - 60% (akbar). Salah satu cara

memanfaatkan teknologi gasifikasi yang banyak berkembang saat ini adalah system fluidisasi (*fluidized bed*), yang mana adalah salah satu teknologi terbaik untuk mengalihkan segala jenis pembakaran, baik itu limbah, biomasa maupun bahan bakar fosil rendah [2]. *Bed* material berfungsi sebagai hamparan untuk melekatnya bahan bakar yang bersirkulasi didalam reaktor. Penggunaan *bed* material bertujuan untuk pemerataan panas pada ruang reaktor karena bahan bakar dan *bed* yang bersirkulasi. Alat yang digunakan untuk melakukan gasifikasi disebut *gasifier*.

Mekanisme *fluidized bed gasification* dibutuhkan oleh suatu reaktor agar berlangsungnya mekanisme tersebut terhadap energi peralihan. Seringnya, reaktor yang sehabis pakai memiliki penghambat adalah penyisaan pembakaran yang tidaklah dapat dibakar yaitu char dan arang. Oleh karena itu, penelitian penulisan artikel ini berkembang berasal dari pemikiran bahwa suatu jenis reaktor *dual reactor fluidzed bed (DFRB)*, dimana terdiri dari gastifikasi dan pembakaran. Teknologi gastifikasi berguna dalam pemisahan mekanisme eksoterm dan endoterm akan halnya fokus terhadap

berkembangnya teknologi terhadap gasifikasi. Mekanisme reaktor tersebut terdapat pengalihan pembakaran akan gas yang belum dapat untuk dialihkan. Maka dari itu, pembakaran itu diformulasikan kedalam reaktor bahan bakar dimana proses tersebut sampai pembakaran habis teralihkan menjadi gas [3].

Adapun permasalahan pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh temperatur gasifikasi *dual reactor fluidized bed* berbahan bakar sampah kota dengan memakai variasi kecepatan superficial.

Beberapa batasan permasalahan akan penelitian penulisan artikel inisebagai berikut:

1. Bahaan bakar limbah biomassa yang disiapkan untuk fluidisasi adalah sampah kota yang dicacah
2. Bed material yang digunakan adalah pasir silika berukuran antara 0,4 – 0,5 mm
3. Temperatur lingkungan dianggap konstan

2. Dasar Teori

2.1. Sampah (Waste)

Sampah merupakan sebuah material sisa yang sudah tidak terpakai, yang dilepaskan kea lam dalam bentuk pada, cair, ataupun gas. Berdasarkan sifatnya sampah dibedakan menjadi tiga, yaitu ada sampah organik, sampah non-organik, dan limbah b3 (Berbahaya, Beracun, Berbau)

2.2. Teknologi Gasifikasi

Gasifikasi dan pembakaran adalah dua proses termokimia yang terkait, tetapi ada perbedaan penting diantara keduanya. Jika ditinjau dari reaksi kimia yang berlangsung, pembakaran dan gasifikasi memiliki perbedaan dari suplai oksigen yang digunakan. Gasifikasi menggunakan control udara yang terbatas.

2.3. Temperatur Gasifikasi

Temperatur akan gasifikasi diwajibkan untuk tinggi dikarenakan pada proses pertama, agar ditemukannya pengeringan sebagai cara penguapan suatu senyawa air dalam pembakaran dimana bertujuan sebagai penghasil gas bersih. Hal tersebut dapat pula berpengaruh akan hasil dari gas dimana ringan terbakar untuk ketahanan temperatur tersebut. maka reservoir reaktor dipisahkan dengan *glasswool* sehingga tidaklah panas dikeluarkan sehingga hasil gasifikasi dan pembakaran menjadi maksimal. Temperatur yang diaplikasikan pada penelitian ini yaitu 500°C – 600°C.

2.4 Laju Konversi Bahan Bakar (L'b)

Taksiran kecepatan pembakaran untuk bahan konsumsi, bisa di kalkulasikan perhitungannya dengan rumus berikut:

$$FCR = \frac{V_{bb}}{F_g} \quad (1)$$

V_{bb} = bahan bakar yang menuju masuk.

F_g =faktor gasifikasi (perkiraan lamanya mekanisme gasifikasi akan suatu proses dimasukkannya pembakaran sesuai dengan total jumlah akan pembakaran yang dipakai)

Pembakaran untuk pengkonsumsian pada mekanisme gasifikasi bisa dikalkulasikan perhitungannya menggunakan rumus:

$$FCR = \frac{\text{berat bahan bakar tergasifikasi}}{\text{waktu operasional}} \\ = \frac{\text{berat bahan bakar-berat arang}}{\text{waktu operasional}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{jam}} \right) \quad (2)$$

3. Metode Penelitian

Pengujian penelitian ini dilaksanakan menggunakan pembelajaran eksperimen berlandaskan maksud untuk mengetahui terpengaruhnya suatu variabel tertentu akan variabel lain dalam pengontrolan penelitian. Berikut tahap yang dilakukan dalam penelitian ini adalah:

- menyiapkan alat penguji cobaan oleh dual reactor fluidized bed gasifier.
- Memeriksa kondisi dari alat ukur.
- Menyiapkan bahan bakar padat berupa sampah kota yang sudah dicacah dengan komposisi 98% Organik dan 2% Nonorganik.
- Menyiapkan material hamparan pasir silika dengan ukuran 0,4 mm sampai 0,5 mm.
- Menyiapkan semua peralatan alat bantu pengujian agar dapat dipastikan wadah pelaksanaan penelitian sehingga tidak tercemar dan bersih, dengan maksud bebas dari asap selain dari reaktor yang bersangkutan.
- Menggunakan hamparan pasir material silika dalam suatu reaktor lewat fuel feeder kemudia nyalakan heater tunggu hingga mencapai temperatur kerja yang diperlukan.
- Mengatur kecepatan udara pada blower dan juga kompresor dengan menggunakan flow meter. Sehingga material hamparan dapat bersirkulasi dengan sempurna.
- Setelah mencapai kondisi steady state kemudia masukkan butiran bahan bakar sampah kota kedalam reaktor melalui fuel feeder dan nyalakan motor listrik agar bahan bakar masuk secara konstan kedalam reaktor gasifikasi.
- Catat waktu operasional, tekanan dan distribusi temperatur kemudia masukkan probe gas analyser ke ujung pipa pembuangan dimana gas analyser tersebut yang sudah dilengkapi dengan filter.
- Ulangi pengujian dengan variasi kecepatan laju aliran yang lain dengan cara mengatur pada tutup buka di reducer dengan melihat angka pada anemometer.
- Setelah pengambilan data selesai, rapihkan dan bersihkan peralatan selajutnya simpan pada tempatnya.
- Gas yang sudah didapat lalu di simpan di dalam tabung dan akan dilihat kadar CO, CH₄, dan H₂ dengan menggunakan gas analyser.
- sesudah pencatatan hasil, data yang menunjukkan grafik dan tabel akan kaitannya dengan variatif temoerature sehingga hasil gasifikasi tersebut akan lama prosesnya, kemudian, nilai pada konsumsi berlaju melalui bahan bakar, sehingga

efisiensi gasifikasi atas kandungan sygas yang dikeluarkan.

- Kesimpulan.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Pengujian Bahan Bakar

Uji coba pada pembakaran bermaksud agar dapat diketahuinya suatu komposisi dan kandungan atas bahan pembakaran sampah kota yang kemudian dipakai sebagai penelitian pembahasan ini. Dilakukan dalam 4 pengujian yaitu analisis proxymate, analisis ultimate, analisis kalor, dan *thermo gravimetric analysis* (TGA).

Tabel 1. Hasil Pengujian Proxymate Analysis

Bahan bakar	Moisture %	Kandungan Abu %	Fixed Carbon %	Volatile Metter %
Sampah Kota	8,65	8,16	3,38	79,81

Didapat nilai *volatile* yang tinggi, disini dapat dilihat bahwa semakin tingginya nilai *volatile* maka menunjukkan sampah kota dapat digunakan sebagai bahan bakar gasifikasi

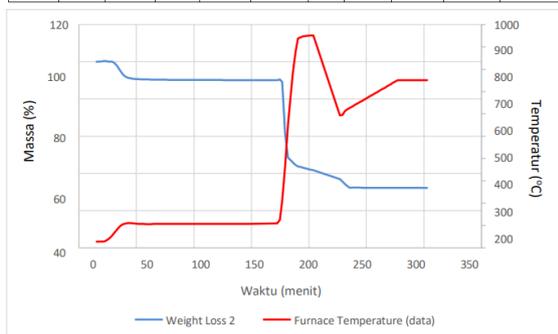
Tabel 2. Hasil Pengujian Ultimate Analysis

Bahan Bakar	karbon %	Hidrogen %	Oksigen %	Nitrogen %	Sulfur %
Sampah Kota	64,46	11,50	18,03	0,25	0,05

Unsur karbon dari bahan bakar sampah kota yang mempunyai presentase paling tinggi, sehingga dapat dikonversi menjadi panas untuk mengkonversi unsur CO dan H² menjadi gas mampu bakar

Tabel 3. Nilai Kalor Bahan Bakar Sampah Kota

Bahan Bakar	Berat Sampel (gram)	Nilai Kalor Standar				Nilai Kalor Sampel Biomassa dan Limbah				
		Benzoid Acid	Temperatur (ΔT)		Nilai Kalor (Cal/°C)	Temperatur (ΔT)		Nilai Kalor (Qc)		
			T ₁	T ₂		T ₁	T ₂	Sampe Rata (Cal/gr)	(J/gr)	
Sampah Kota 1	1	6318	28.621	31.275	2380.558	29.390	31.930	6046.616	6701.270	16083.047
Sampah Kota 2	1	6318	28.621	31.275	2380.558	28.643	31.249	6203.733		

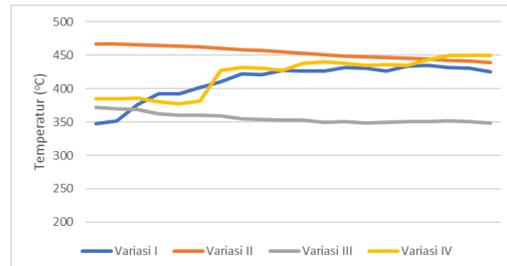


Gambar 1. Grafik Thermo Gravimetric Analysis

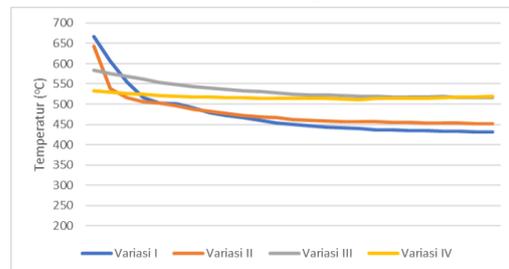
Dapat dilihat bahwa penurunan massa atau *weight loss* secara signifikan berlaku atas temperature 300 – 900°C ssementara itu, atas temperature 120°C berlaku mekanisme pengeringan atau penghilangan kandungan air dimana berasal atas biomassa sampah kota, sehingga bisa didapat bahwa proses gasifikasi dari biomassa sampah kota terjadi pada temperature 300 – 900°C

4.2 Analisa Hasil temperatur

Pada Setiap reaktor dipasang termokopel di beberapa titik yang telah di tentukan (T1, T2, T3, T4) pada reaktor gasifikasi dan (T5, T6, T7, T8) pada reaktor pembakaran, persebaran temperature diukur saat temperatur kerja telah mencapai 500°C pada reaktor gasifikasi dan 600°C pada reaktor pembakaran. Termokopel yang digunakan sebagai perbandingan pada penelitian ini adalah termokopel 3 (T3) pada reaktor gasifikasi, dan termokopel 6 (T6) pada reaktor pembakaran. Sebagai penggambaran dapat ditinjau akan grafik dibawah ini.



Gambar 1. Grafik Temperatur Gasifikasi



Gambar 2. Grafik Temperatur Pembakaran

4.3 Laju Konversi Bahan Bakar

Setelah melakukan penelitian, maka nilai dari laju konversi bahan bakar (L'b) dari masing-masing variasi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

- a) Variasi I (7 m/s)

$$L'b = \frac{\text{Berat Bahan Bakar} - \text{Berat Arang}}{\text{Lama Nyala}}$$

$$L'b = \frac{0,72 \text{ kg} - 0,145 \text{ kg}}{321 \text{ detik}} = \frac{0,575 \text{ kg}}{0,08 \text{ jam}}$$

$$L'b = 7,187 \text{ kg/jam}$$

- b) Variasi II (8 m/s)

$$L'b = \frac{\text{Berat Bahan Bakar} - \text{Berat Arang}}{\text{Lama Nyala}}$$

$$L'b = \frac{0,72 \text{ kg} - 0,140 \text{ kg}}{373 \text{ detik}} = \frac{0,58 \text{ kg}}{0,103 \text{ jam}}$$

$$L'b = 5,631 \text{ kg/jam}$$

- c) Variasi III (9 m/s)

$$L'b = \frac{\text{Berat Bahan Bakar} - \text{Berat Arang}}{\text{Lama Nyala}}$$

$$L'b = \frac{0,72 \text{ kg} - 0,135 \text{ kg}}{447 \text{ detik}} = \frac{0,585 \text{ kg}}{0,124 \text{ jam}}$$

$$L'b = 4,717 \text{ kg/jam}$$

- d) Variasi IV (10 m/s)

$$L'b = \frac{\text{Berat Bahan Bakar} - \text{Berat Arang}}{\text{Lama Nyala}}$$

$$L'b = \frac{0,72 \text{ kg} - 0,130 \text{ kg}}{480 \text{ detik}} = \frac{0,59 \text{ kg}}{0,133 \text{ jam}}$$

$$L'b = 4,436 \text{ kg/jam}$$

5. Kesimpulan

Dari penulisan penelitian yang sudah dilaksanakan dengan memakai variasi kecepatan superficial 7, 8, 9, 10 m/s, hasil temperature di reaktor gasifikasi didapat rata-rata temperatur 437°C dan pada reaktor pembakaran didapat rata-rata temperature 517,8°C. Pada penelitian ini didapat pula nilai laju konversi bahan bakar (L'b), antara lain 7,187, 5,631, 4,717, 4,436 kg/jam.

Daftar Pustaka

- [1] G. Rinovianto, 2012, *Karakteristik Gasifikasi Pada Updraft Double Gas Outlet*.
- [2] I. Suprapta Winaya, I. Gede Sujana, and I. Tenaya, 2010, *Formasi Gas Buang Pada Pembakaran Fluidized Bed Sekam Padi*, J. Energi Dan Manufaktur, Vol. 4, No. 1, pp. 2–6.
- [3] I. M. A. Wiranata, I. N. S. Winaya, and A. A. I. A. S. Komaladewi, 2017, *Studi Eksperimental Komposisi Campuran Arang Tempurung Kelapa (Char) dengan Bed Material Tanah Liat Pada Dual Reaktor Fluidized Bed*, Vol. 6, No. 1, pp. 113–119.



Abdurrahman Muttaqin

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

Bidang penelitian yang menjadi konsentrasi adalah topik pembahasan konversi energi

Studi Temperatur dan Hasil Gas Komposisi Bahan Bakar Sampah Kota pada Gasifikasi *Dual Reactor Fluidized Bed*

Gian Geraldo Pangaribuan, I Nyoman Suprpta Winaya, I Putu Lokantara
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Permasalahan utama yang sering dialami oleh berbagai negara di seluruh dunia adalah sampah karena bersifat sukar untuk diuraikan, namun keberadaannya semakin meningkat setiap tahun. Pulau Bali merupakan salah satu destinasi wisata yang jumlah sampahnya terus meningkat. Salah satu cara untuk mengurangi timbunan sampah adalah memanfaatkannya menjadi energi, menggunakan teknologi gasifikasi yaitu sistem fluidisasi (*fluidized bed*). Penelitian ini bertujuan untuk melihat hasil temperatur dan hasil gas dari komposisi bahan bakar sampah kota pada sistem gasifikasi *dual reactor fluidized bed* (DRFB). Bahan Bakar yang dipakai yaitu sampah organik dan anorganik yang telah dicacah dan dikeringkan dengan variasi sampah anorganik sebanyak 0%, 2%, 4% dan 6% dari 720 gram total sampah. Hasil pengujian didapat persentase jumlah syngas yang dihasilkan paling banyak pada variasi III sebanyak 10,507%.

Kata kunci: *Dual Reactor Fluidized Bed, Gasifikasi, Sampah Kota, Temperatur*

Abstract

The main problem that is often experienced by various countries around the world is waste because it is difficult to decipher, but its existence is increasing every year. The island of Bali is one tourist destination whose number of arrivals continues to increase. One way to reduce waste piles is to use it as energy, using gasification technology, namely the *fluidized bed* system. This study aims to see the results of temperature and gas yields from the composition of municipal solid waste fuel in a *dual reactor fluidized bed* (DRFB) gasification system. The fuel used is organic and inorganic waste that has been chopped and dried with variations of inorganic waste as much as 0%, 2%, 4% and 6% of the total 720 grams of waste. The test results obtained the percentage of the amount of syngas produced at most in variation III as much as 10.507%.

Keywords: *Dual Reactor Fluidized Bed, Gasification, Waste, Temperature*

1. Pendahuluan

Salah satu permasalahan global yang sedang marak pada saat ini yaitu jumlah sampah yang meningkat setiap tahunnya. Jumlah total sampah di Indonesia diperkirakan mencapai 68 juta ton sehingga akan hal itu, sampah plastik di Indonesia diperkirakan mencapai total 9,52 juta ton, sumber tersebut didapat dari data kementerian lingkungan hidup dan kehutanan.

Salah satu cara untuk mengurangi timbunan sampah adalah memanfaatkan sampah menjadi energi terbarukan. Permintaan energi di seluruh dunia meningkat dan bagian terbesar dari pertumbuhan saat ini ditutupi oleh minyak dan gas. Teknologi gasifikasi adalah teknologi yang dapat digunakan untuk memanfaatkan sampah [1]. Gasifikasi merupakan proses dimana suatu pembakaran atas suplai udara terbatas (20% - 40% udara stoikiometri) dimana konversi bahan bakar padat dikonversi menjadi gas (CO, CH₄, dan H₂) [2].

Untuk menangani masalah penumpukan sampah yang terus meningkat, dikembangkanlah salah satu teknologi gasifikasi yaitu *fluidized bed* menggunakan *dual reactor* untuk melakukan proses gasifikasi dan pembakaran yang disebut *Dual Reactor Fluidized Bed* (DRFB). DRFB juga telah diidentifikasi sebagai reactor yang layak untuk pirolisis biomassa dalam skala yang besar [3].

Pengujian ini menggunakan sampah yang dicacah, yang termasuk didalamnya adalah sampah anorganik dan sampah organik. Variasi kandungan sampah organik dan anorganik bertujuan untuk mengetahui apakah campuran sampah organik dan anorganik berpengaruh pada hasil temperatur dan kandungan gas yang dihasilkan dari DRFB. Penelitian ini bertujuan untuk melihat dan menganalisa hasil temperatur dan hasil gas dari variasi komposisi campuran sampah organik dan anorganik pada alat DRFB.

Beberapa batasan permasalahan akan suatu penelitian penulisan sebagai berikut:

1. Proses fluidisasi dilakukan pada *Dual Reactor Fluidized Bed* (DRFB)
2. Bahan bakar sampah adalah sampah organik dan sampah anorganik yang dicacah dengan variasi massa sampah anorganik
3. Sampah organik terdiri dari sampah organik bebas yang dicampur dan dicacah.
4. Sampah anorganik yaitu sampah kantong plastik yang dicacah
5. *Bed material* yang digunakan adalah pasir silika berukuran 0,4 mm
6. Temperatur lingkungan disekitar gasifikasi dianggap konstan

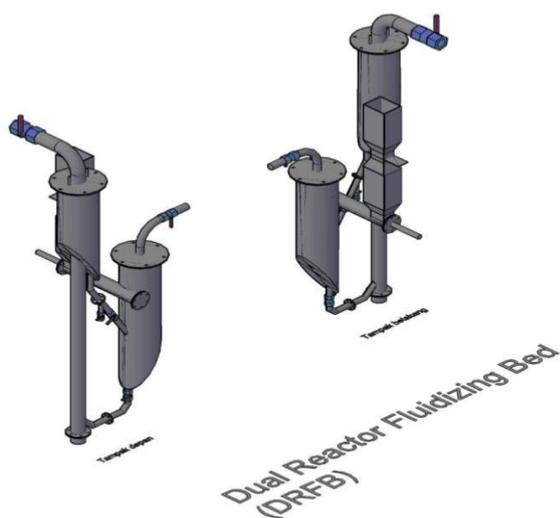
7. Penelitian bertujuan untuk melihat hasil temperatur dan hasil gas dari variasi sampah organik dan anorganik pada DRFB

2. Dasar Teori

2.1. Dual Reactor Fluidized Bed (DRFB)

Sebuah pengembangan teknologi terbaru yaitu *Dual Reactor Fluidized Bed* (DRFB) terwujud akan suatu jenis reaktor dimana mempunyai sistematis peredaran ganda, yang diharuskan salah satu reaktor berjalan untuk membakar biomassa yang tidak terkonversi secara sempurna. Dari penyatuan tipe yang telah disebutkan menjadikannya DRFB merupakan suatu teknologi atas proses gasifikasi dan proses pembakaran terpisah dimana memaksudkan agar pemisahan reaksi eksoterm dan endoterm. Pemisahan atas kedua hal tersebut, maka pereaksian boleh berwujud udara yang meluap sehingga hal tersebut meningkatnya hasil dari proses jumlah syngas [4].

Langkah kerja dari DRFB yaitu pembakaran yang dibanamkan kedalam *fuel feeder* menuju reaktor gasifikasi, setelah itu diaruskan ke reaktor bahan bakar agar dihasilkannya suatu gas dan sebuah sisa biomassa yang tidak teralihkan dengan baik diaruskan kembali, sehingga dapat dikonversi terhadap gas. Pada suatu reaktor bahan bakar, bahan bakar dan materials hamparan (*bed material*) difluidisasikan, dimana residua rang atau char yang tersisa dikeluarkan dari bagian bawah reaktor yang disebut *downer*, bersamaan dengan material hamparan yang tersirkulasi di antar kedua reaktor.



Gambar 1. Dual Reaktor Fluidized Bed

2.2. Temperatur Gasifikasi

Temperatur akan gasifikasi diwajibkan untuk tinggi dikarenakan pada proses pertama, agar ditemukannya pengeringan sebagai cara penguapan suatu senyawa air dalam pembakaran dimana bertujuan sebagai penghasil gas bersih. Hal tersebut dapat pula berpengaruh akan hasil dari gas dimana ringan terbakar untuk ketahanan temperatur tersebut.

maka reservoir reaktor dipisahkan dengan *glasswool* sehingga tidaklah panas dikeluarkan sehingga hasil gasifikasi dan pembakaran menjadi maksimal. Temperatur yang diaplikasikan pada penelitian ini yaitu 500°C – 600°C.

2.3. Gasifikasi Fluidized Bed

Teknik gasifikasi merupakan dipilihnya pada penelitian ini adalah tipe fluidized bed. Karena keunggulannya bisa berfungsi sebagai pengolah pembakaran atas kualitas standar dengan tambahan abu tinggi. Berawal dari pemanasan ruang bakar eksternal hingga muncul temperatur reaktor yang bekerja sehingga proses dari diadakannya konversi akan suatu energi dengan teknologi ini dapat dilakukan. Pengantaran material gasifikasi dimana umumnya sering dipakai agar panas yang dihasilkan dapat terabsorpsi yang menggunakan material pasir silika. Bahan tersebut disertai dengan bara api berguna untuk pengalaman akan turbulensi dalam suatu ruang pembakaran sehingga kesamarataan sistem temperatur yang bersangkutan terjaga sehingga mengakibatkan proses tersebut berjalan dengan baik.

Keseragaman temperature merupakan faktor penting dalam penjagaan kestabilan suatu bahan bakar, dimana bermanfaat untuk pengurangan sebuah emisi polutan sebagai sebab dari keluaran bahan bakar yang tidaklah menyentuh angka pas. Proses tersebut terjadi pada operasi dan temperature yang berada dibawah leleh abu, akan hal tersebut, sebagai cara penghilangan material abu akan mekanisme gasifikasi menjadi enteng. Oleh karena itu, gas fluidized bed pas dipakai sebagai cara untuk mengolah pembakaran padat dimana kandungan abu tinggi, daripada harus memprosesnya pada kondisi rendah.

3. Metode Penelitian

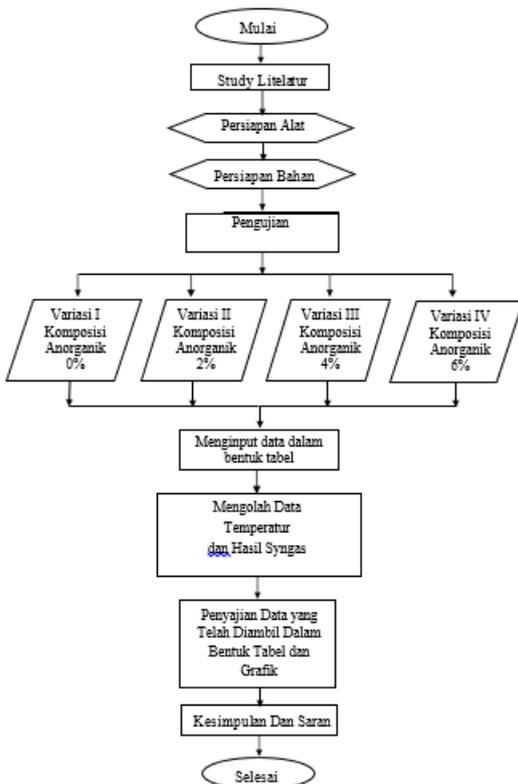
Metode pendekatan secara eksperimental ini dilakukan sesuai dengan tujuan pelaksanaan penelitian yaitu mengetahui bagaimana hasil temperature dan hasil gas dari gasifikasi DRFB berbahan bakar sampah perkotaan dengan variasi komposisi campuran sampah organik dan anorganik, dengan laju aliran standar yang telah ditentukan.

Rancangan penelitian dengan metode pendekatan eksperimental meliputi hal-hal sebagai berikut,

1. Perumusan masalah sesuai konsep dan ide penelitian
2. Menentukan perlakuan apa yang akan dilakukan dan dampak yang ingin dilihat hasilnya
3. Menentukan objek yang akan diberi perlakuan tertentu
4. Membangun instrumentasi ukuran dalam hal pengumpulan data.
5. Dilaksanakannya suatu mekanisme penelitian atas pengumpulan suatu data.
6. Analisa data
7. Dirumuskannya kesimpulan

variable dimana berfungsi atas pembahasan ini antara lain sebagai berikut:

1. Variabel bebas
Adalah suatu variabel dimana terpengaruhnya kemunculan akan gejala. pembahasan ini yang menjadi variabel bebas adalah variasi kandungan sampah yang dicacah, berikut variasi yang digunakan:
 - a. Variasi 1 (kandungan massa sampah organik 100%, sampah anorganik 0%)
 - b. Variasi 2 (kandungan massa sampah organik 98%, sampah anorganik 2%)
 - c. Variasi 3 (kandungan massa sampah organik 96%, sampah anorganik 4%)
 - d. Variasi 4 (kandungan massa sampah organik 94%, sampah anorganik 6%)
2. Variabel terikat
Merupakan pengelompokan suatu gejala dimana kepemilikan aspek berupa unsur yang akan dijadikan penerima akan mencoba untuk disesuaikan atas variabel lain. Dalam pembahasan ini variabel tersebut:
 - a. Temperatur
 - b. Hasil gas mampu bakar (*syngas*)



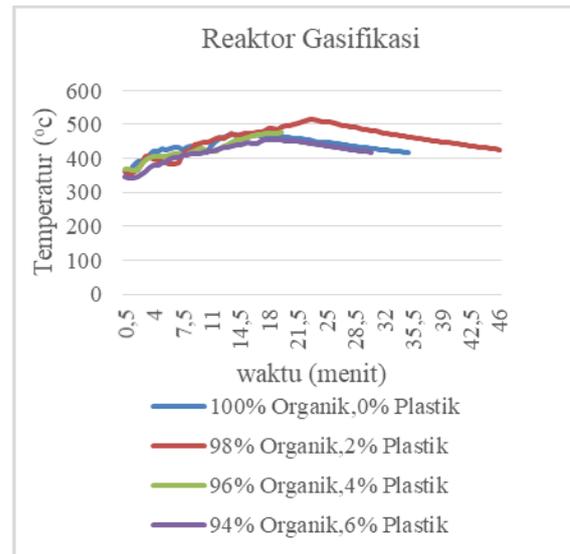
Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

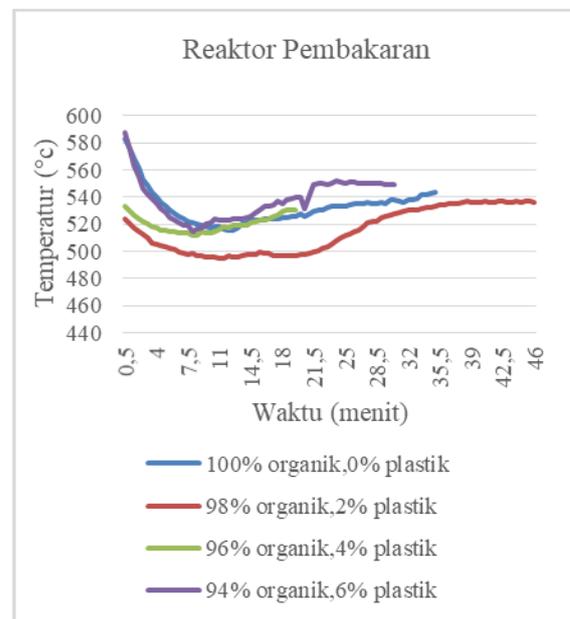
4.1. Analisa Hasil Temperatur

Pada penelitian ini pada setiap reactor di pasang termokopel di beberapa titik yang telah ditentukan (T1, T2, dan T3) pada reactor gasifikasi dan (T4, T5, T6, T7, dan T8) pada reactor pembakaran. Persebaran temperature diukur saat temperature kerja

telah tercapai 500oC pada reactor gasifikasi dan 600oC pada reactor pembakaran. Termokopel yang di gunakan sebagai perbandingan pada penelitian ini adalah termokopel 3 (T3) pada reactor gasifikasi, dan termopel 6 (T6) pada reactor pembakaran. Untuk lebih lengkapnya dilihat pada mekanisme dibawah ini.



Gambar 3. Perbandingan Temperatur Reaktor Gasifikasi



Gambar 4. Perbandingan Temperatur Reaktor Pembakaran

Dari grafik hasil penelitian pada gambar 3 grafik perbandingan temperature reactor gasifikasi menunjukkan variasi I memiliki temperature yang naik di awal lalu turun, begitu pula dengan variasi II, variasi III dan variasi IV, tetapi sangat terlihat jelas penaikan dan penurunan di variasi II. Pada gambar 4 menunjukkan distribusi temperature pada reactor pembakaran dimana grafik menunjukkan adanya

penurunan temperature di awal penyalaan heater pada rector pembakaran. Hal ini dikarenakan hembusan udara dari blower dan kompresor.

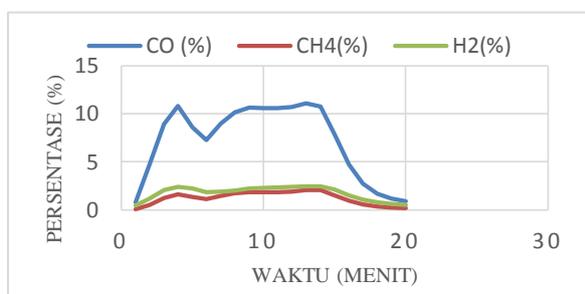
4.2. Data Pengujian Hasil Gasifikasi

4.2.1. Hasil Data Gas Variasi I (0% Anorganik)

Pada pengujian gasifikasi dual reactor ini didapatkan rata-rata hasil gas gasifikasi dimulai dari terbentuknya CO hingga habis atau tidak adanya gas CO yang terbentuk lagi seperti tabel dibawah ini.

Tabel 1. Hasil Kandungan Gas Massa Sampah 100% Organik, 0% Plastik

Kandungan Rata-rata Gas (% Volume)		
CO(%)	CH4(%)	H2(%)
7,186	1,2245	1,7425



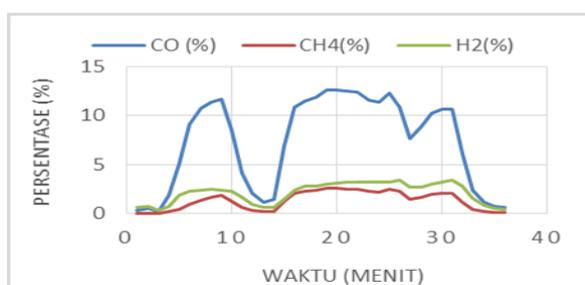
Gambar 5. Grafik Syngas 100% Organik, 0% Plastik

Pada gambar 5 grafik syngas dapat diketahui bahwa gas CO tertinggi yang mampu dihasilkan sebesar 10,82%, sedangkan untuk gas CH4 tertinggi yang mampu dihasilkan sebesar 2,08% dan untuk gas H2 tertinggi yang mampu dihasilkan sebesar 2,46%.

4.2.2. Hasil Data Gas Variasi II (2% Anorganik)

Tabel 2. Hasil Kandungan Gas Massa Sampah 98% Organik, 2% Plastik

Kandungan Rata-rata Gas (% Volume)		
CO (%)	CH4 (%)	H2 (%)
7,186	1,2245	1,7425



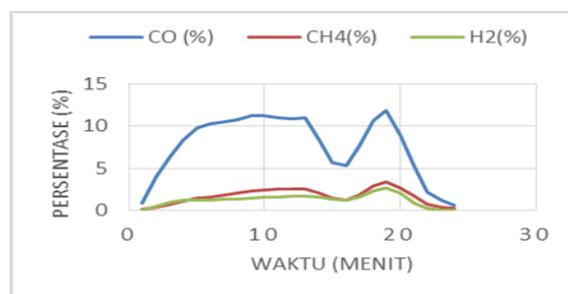
Gambar 6. Grafik Syngas 98% Organik, 2% Plastik

Pada gambar 6 grafik syngas dapat diketahui bahwa gas CO tertinggi yang mampu dihasilkan sebesar 12,56%, sedangkan untuk gas CH4 tertinggi yang mampu dihasilkan sebesar 2,62% dan untuk H2 tertinggi yang mampu dihasilkan sebesar 3,37%.

4.2.3. Hasil Data Gas Variasi III (4% Anorganik)

Tabel 3. Hasil Kandungan Gas Massa Sampah 96% Organik, 4% Plastik

Kandungan Rata-rata Gas (% Volume)		
CO (%)	CH4 (%)	H2 (%)
7,186	1,2245	1,7425



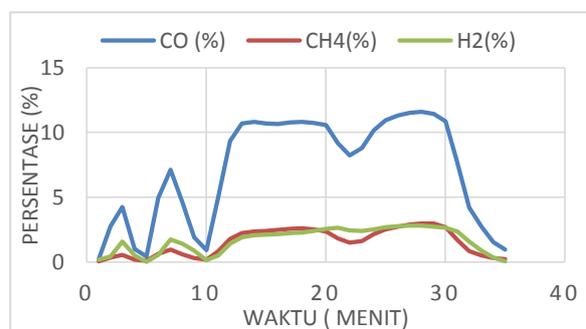
Gambar 7. Grafik Syngas 96% Organik, 4% Plastik

Pada gambar 7 grafik syngas dapat dilihat bahwa gas CO tertinggi yang mampu dihasilkan sebesar 11,22% sedangkan untuk gas CH4 tertinggi yang mampu dihasilkan sebesar 3,34% dan untuk gas H2 tertinggi yang mampu dihasilkan sebesar 2,59%.

4.2.4. Hasil Data Gas Variasi IV (6% Anorganik)

Tabel 4. Hasil Kandungan Gas Massa Sampah 94% Organik, 6% Plastik

Kandungan Gas (% Volume)		
CO(%)	CH4(%)	H2(%)
7,12	1,2245	1,7425



Gambar 8. Grafik Syngas 94% Organik, 6% Plastik

Pada gambar 8 grafik dapat diketahui bahwa gas CO tertinggi yang mampu dihasilkan sebesar 11,59%, sedangkan untuk gas CH4 tertinggi yang

mampu dihasilkan sebesar 2,98% dan untuk gas H₂ tertinggi yang mampu dihasilkan sebesar 2,81%.

5. Kesimpulan

Bersumber dari pengelasan atas uji yang sebelumnya dijalankan, dapat ditarik garis simpulan bahwa:

1. Temperatur tertinggi akan reaktor gasifikasi dihasilkan oleh variasi II, yaitu 500°C, dan yang terendah yaitu variasi IV sebesar 450°C
2. Temperatur tertinggi pada reaktor pembakaran dihasilkan oleh variasi IV, yaitu 550°C, dan yang terendah yaitu variasi III sebesar 530°C
3. Hasil syngas yang paling dominan dalam penelitian adalah gas CO yang umumnya terlihat dari menit ke-10 dari setiap waktu operasi.

Daftar Pustaka

- [1] Kern, S., Pfeifer C. & Hofbauer, H., 2013, *Gasification of lignite in a dual fluidized bed gasifier. – “Influence of bed material particle size and the amount of steam. Fuel Processing Technology*, 111,1–13. Institute of Chemical Engineering, Vienna University of Technology.
- [2] Rinovianto G., 2012, *Karakteristik Gasifikasi Pada Updraft Double Gas Outlet*, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok.
- [3] Swart S., 2012, *Modelling and Construction of a Scalable Dual Fluidised Bed Reactor for the Pyrolysis of Biomass*, University of Pretoria
- [4] Basu, Prabir, 2006, *Gasification And Combustion*, Halifax, Nova Scotia By Taylor and Francis Group, LLC.



Gian Geraldo Pangaribuan
menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana, Program Studi Teknik Mesin, pada tahun 2020

Bidang penelitian yang menjadi konsentrasi adalah topik pembahasan konversi energi

Studi Pengaruh Penambahan Limbah Plastik pada Sampah Kota Terhadap Temperatur dan Fuel Conversion Rate Gasifikasi Downdraft

I Made Dony Mei Hermawan, INyoman Suprpta Winaya, IPutu Lokantara
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Sampah plastik merupakan permasalahan yang di hadapi oleh seluruh dunia tidak terkecuali Indonesia. Pulau bali yang memiliki daya tarik wisata mancanegara, seiring pertumbuhan pariwisata jumlah sampah plastik yang dihasilkan terus meningkat. Salah satu teknologi yang mampu mengubah sampah menjadi energi yaitu teknologi gasifikasi. Teknologi gasifikasi ini merubah sampah menjadi energi dengan mengkonversi bahan bakar padat menjadi gas mampu bakar (*syngas*) melalui pembakaran dengan suplai udara yang terbatas. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah plastik terhadap temperature gasifikasi downdraft sampah kota dengan penambahan plastik sebanyak 2%, 4%, dan 6% dari 1 kg sampah organik. Perbedaan jumlah campuran plastik nantinya akan menghasilkan karakteristik bahan bakar yang berbeda sehingga dapat di ketahui campuran bahan bakar yang paling bagus. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada variasi dengan penambahan 2% masa plastik, di dapatkan hasil yaitu dalam waktu 2,5 menit reaktor gasifikasi mampu mencapai suhu 869 °C dengan Fuel Conversion Rate sebesar 1.87 kg/jam, penambahan 4% masa plastik, di dapatkan hasil yaitu dalam waktu 2,5 menit reaktor gasifikasi mampu mencapai suhu 468 °C dengan Fuel Conversion Rate sebesar 1.75 kg/jam, dan dengan penambahan 6% masa plastik, di dapatkan hasil yaitu dalam waktu 2,5 menit reaktor gasifikasi mampu mencapai suhu 383 °C dengan Fuel Conversion Rate sebesar 1.43 kg/jam.

Kata kunci: Gasifikasi, temperatur, penambahan 2%, 4%.dan 6% masa plastik

Abstract

Plastic waste is a problem faced by the whole world, including Indonesia. The island of Bali which has a foreign tourist attraction, along with tourism growth, the amount of plastic waste produced continues to increase. One of the technologies that can convert waste into energy is gasification technology. This gasification technology converts waste into energy by converting solid fuel into combustible gas (*syngas*) through combustion with a limited air supply. This study aims to determine the effect of adding plastic waste to the temperature of downdraft city waste gasification with the addition of plastic as much as 2%, 4%, and 6% of 1 kg of organic waste. The difference in the amount of plastic mixture will later produce different fuel characteristics so that the best fuel mixture can be found. The results showed that in variations with the addition of 2% plastic mass, the results were that within 2.5 minutes the gasification reaktor was able to reach a temperature of 869 °C with a Fuel Conversion Rate of 1.87 kg / hour, an addition of 4% of plastic mass, the results were within 2.5 minutes the gasification reaktor is able to reach a temperature of 468 °C with a Fuel Conversion Rate of 1.75 kg / hour, and with the addition of 6% of the plastic mass, the results are that within 2.5 minutes the gasification reaktor can reach a temperature of 383 °C with fuel Conversion Rate of 1.43 kg/hour.

Keywords: Gasification, temperature, adding 2%, 4%. and 6% of the plastic mass

1. Pendahuluan

Sampah plastik merupakan salah satu sampah yang sangat sulit untuk di uraikan dan merupakan salahsatu masalah yang dialami oleh berbagai negara tidak terkecuali di Indonesia. Bali merupakan salah satu pulau yang memiliki dayatarik wisatawan mancanegara, dimana seiring pertumbuhan pariwisata di bali jumlah sampah yang di hasilkanpun semakin tinggi terutama jenis sampah plastik. Menurut data dari Dinas Lingkungan Hidup (DLH), dan Badan Pusat Statistik (BPS) daerah bali pada tahun 2019 jumlah sampah yang dihasilkan di Bali mencapai 4.281 ton per hari atau 1,5 juta ton pertahunnya dan 11%-nya mengalir ke laut, jumlah ini terus meningkat setiap tahunnya. Indonesia memiliki kekayaan vegetasi yang melimpah meliputi di bidang pertanian, perkebunan dan perhutanan yang menyebabkan melimpahnya sumber energi biomasa

baik itu masih dalam wujud bahan baku maupun limbah untuk mengatasi jumlah sampah yang kian hari semakin menumpuk ini dapat dilakukan dengan mengolahnya menjadi energi terbarukan. Salah satu teknologi yang mampu mengubah sampah menjadi energi yaitu teknologi gasifikasi. Teknologi gasifikasi ini merubah sampah menjadi energi panas dengan mengkonversi bahan bakar padat menjadi gas mampu bakar (*syngas*) melalui pembakaran dengan suplai udara yang terbatas. Teknologi gasifikasi ini dirasakan lebih bagus dalam mengatasi permasalahan sampah ini dimana produk yang dihasilkan dari proses gasifikasi berupa *syngas* atau gas mampu bakar yang nantinya mampu untuk di konversi lagi menjadi energi panas atau gerak (energi mekanik).

Penelitian yang di lakukan oleh Angga Yuda (2019), tentang variasi perlakuan awal bahan bakar (kering, pellet, briket) pada gasifikasi biomasa

sampah kota dengan sistem downdraft kontinyu dan didapatkan hasil yaitu efisiensi terbaik didapatkan pada perlakuan bahan bakar yang diberikatkan sebesar 61,32 %. Sedangkan untuk variasi I yaitu bahan bakar kering dengan efisiensi 51,89%. Efisiensi terendadidapatkan pada variasi II yaitu bahan bakar pellet dengan efisiensi 49,78%.

Penelitian yang pernah dilakukan oleh feiqiang guo et al (2014)., berbahan dasar tongkol jagung (*corn stalk*) kering dengan metode mempariasikan equivalence Ratio 0,8 – 0,37 dan didapatkan hasil bahwa pada ER 0,25 - 0,27 dihasilkan gas dalam kondisi terbaik dengan *Low Heating Value (LHV)* sekitar 5400 KJ/m³ dan cold gas *efficiency* sebesar 65%.

Berdasarkan nilai kalornya sampah makanan yang berupa sampah organik memiliki nilai kalor tertinggi dan plastik tertinggi ke dua setelah sampah organik. Sehingga jika penelitian ini menggunakan sampah organik yang dicampur dengan sampah anorganik (plastik) dengan variasi 2%, 4%, dan 6% plastik dari 1kg sampah, dari variasi tersebut diharapkan temperature dan energi yang dihasilkan dari proses gasifikasi meningkat ataupun lebih baik dari bahan bakar lainnya. Maka dari itu penelitian yang akan dilakukan adalah mengenai pengaruh penambahan limbah plastik terhadap temperature gasifikasi *downdraft* sampah kota. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa bagaimana pengaruh campuran komposisi bahan bakar gasifikasi yang berbahan bakar sampah kota dengan penambahan sampah plastik sebanyak 2%, 4%, dan 6% dari 1kg masa sampah organik terhadap performansi gasifikasi gowndraft. Adapun parameter yang akan di tetapkan pada penelitian ini adalah Air Fuel Rate (AFR) dan Equivalence Ratio₁ (ER)

2. Dasar Teori

2.1 Sampah (Waste)

Sampah adalah sebuah material sisa yang berbentuk pada, cair, ataupun gas yang sudah tidak terpakai, dan dilepaskan kealam. Berdasarkan sifatnya sampah dibedakan menjadi tiga, yaitu ada sampah organik, sampah non-organik, dan limbah B3 (Berbahaya, Beracun, Berbau). Sampah kota yang dipakai merupakan material sisa dari rumah tangga ataupun industri kecil menengah

2.2 Teknologi Gasifikasi

Teknologi gasifikasi merupakan teknologi yang mamapu merubah sampah menjadi energi panas dengan mengkonversi bahan bakar padat maupun cair menjadi gas mampu bakar atau *syngas* (CO, CH₄, H₂) melalu pembakaran dengan suplai udara yang terbatas.

Gasifikasi *downdraft* adalah salah satu teknologi gasifikasi dimana arah pergerakan udara bergerak menuju ke arah zona gasifikasi di bagian bawah yang menyebabkan asap *pyrolysis* yang dihasilkan melewati zonai gasifikasi yang panas. Hal ini menyebabkan tar yang terkandung dalam asap menjadi terbakar, sehingga gas yang dihasilkan oleh

reaktor ini lebih bersih. Keuntungan reaktor tipe ini adalah reaktor ini dapat digunakan untuk operasi gasifikasi yang berkelanjutan dengan pemasukan bahan bakar melalui bagian atas reaktor.

2.3 Kecepatan Konsumsi Bahan Bakar

FCR (Fuel Conversion Rate) atau kecepatan konsumsi bahan bakar adalah laju konversi bahan bakar atau jumlah konversi bahan bakar per satuan waktu. *FCR* dapat di hitung dengan cara sebagai berikut:

$$FCR = \frac{\text{berat bahan bakar tergasifikasi}}{\text{waktu oprasional}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{jam}} \right) \quad (1)$$

$$FCR = \frac{\text{berat bahan bakar} - \text{berat arang}}{\text{waktu oprasional}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{jam}} \right)$$

3 Metode Penelitian

Penelitian dilakukan menggunakan metode eksperimental yang meliputi perbaikan reaktor gasifikasi *downdraft*, menyiapkan campuran bahan bakar dengan komposisi 98% organik dan 2% plastik dari 1 kg sampah, 96% organik dan 4% plastik dari 1 kg sampahdan terakhir dengan komposisi 94% organik dan 6% plastik Setelah bahan bakar di campur selanjutnya di pellet menggunakan mesin pellet. Setelah bahan bakar siap selanjutnya melakukan pengujian, sebelum melakukan pengujian pastikan *thermocouple* sudah terhubung ke *data logger* dan siap untuk merekam data temperatur. Pengujian dilakukan dengan cara memasukkan salah satu variasi bahan bakar sebanyak 1 kg ke reaktor gasifikasi selanjutnya nyalakan lewat lubang sulut api sampai terbentuk bara api selanjutnya hidupkan *blower* dan dan mulai merekam temperature pada *data logger* bersamaan dengan itu ukur kecepatan udara masuk reaktor sesuai dengan kebutuhan udara gasifikasi. Pengujian dilakukan sampai bahan bakar habis pada zona gasifikasi.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Data Hasil Penelitian

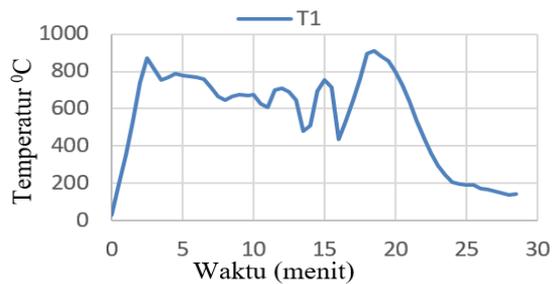
Setelah melakukan penelitian setiap variasi bahan bakar sesuai dengan metode penelitian maka didapatkan data seperti waktu pengujian, waktu nyala api, massa input, massa abu. Waktu pengujian di ukur mulai dari terbentuknya gas hasil gasifikasi sampai tidak terbentuk gas atau tidak dihasilkan gas lagi dimana bahan bakar sudah habis untuk 1 kg bahan bakar.

4.2. Data Hasil Pengujian Suhu Reaktor Gasifikasi

Tabel 1. Data Hasil Penelitian

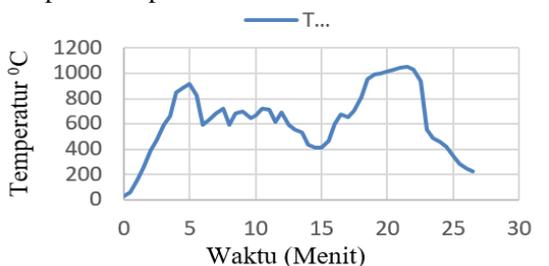
Variasi	Waktu Oprasional (Menit)	Waktu Nyala Api (menit)	Masa Input (gram)	Masa abu (gram)
2%	25	21	1000	221,1
4%	27	21,5	1000	210,4
6%	34	27	1000	187,5

Berdasarkan hasil pengujian suhu dari reaktor gasifikasi di zona gasifikasi dapat di lihat pada gambar grafik di bawah ini.



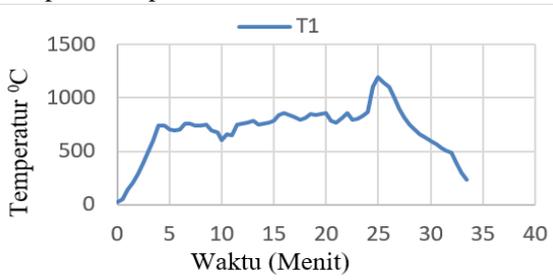
Gambar 1. Temperature Reaktor pada Penambahan 2% Masa Plastik

Pada gambar 1 kita dapat mengetahui bahwa dengan penambahan 2% masa plastik, di dapatkan hasil yaitu dalam waktu 2,5 menit reaktor gasifikasi mampu mencapai suhu 869 °C.



Gambar 2. Temperature Reaktor pada Penambahan 4% Masa Plastik

Pada gambar 2 kita dapat mengetahui bahwa dengan penambahan 4% masa plastik, di dapatkan hasil yaitu dalam waktu 2,5 menit reaktor gasifikasi mampu mencapai suhu 468 °C



Gambar 3. Temperatur Reaktor pada Penambahan 6% Masa Plastik

Pada gambar 3 kita dapat mengetahui bahwa dengan penambahan 6% masa plastik, di dapatkan hasil yaitu dalam waktu 2,5 menit reaktor gasifikasi mampu mencapai suhu 383 °C

4.3 Fuel Conversion Rate (FCR)

Setelah melakukan penelitian, maka nilai dari laju konversi bahan bakar (*FCR*) dari masing-masing penambahan plastik dapat dihitung dengan rumus (1) pada dasar teori sebagai berikut:

- Penambahan 2% masa plastik

$$FCR = \frac{(1kg - 0,2211kg)}{0,43 jam} = 1,87 \frac{kg}{jam}$$
- Penambahan 4% masa plastik

$$FCR = \frac{(1kg - 0,2104kg)}{0,45 jam} = 1,75 \frac{kg}{jam}$$
- Penambahan 6% masa plastik

$$FCR = \frac{(1kg - 0,2104kg)}{0,45 jam} = 1,43 \frac{kg}{jam}$$

Tabel 2. Fuel Conversion Rate (FCR)

Masa Bahan Bakar (kg)	Masa Abu (kg)	Waktu Oprasional (jam)	FCR (kg/jam)
1	0.2211	0.42	1.87
1	0.2104	0.45	1.75
1	0.1875	0.57	1.43

Dari tabel 2 kita dapat mengetahui bahwa FCR tertinggi dan terendah didapatkan dari penambahan 2% masa plastik sebesar 1.87 kg/jam dan dari penambahan 6% masa plastik sebesar 1.43 kg/jam.

5. Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan plastik dapat mempercepat kenaikan suhu dan mempercepat konsumsi bahan bakar, namun semakin banyak jumlah plastik pada bahan bakar menyebabkan penurunan kecepatan kenaikan suhu dan menurunkan kecepatan konsumsi bahan bakar.

Daftar Pustaka

- Pratama I. P. A. Y., Winaya I. N. S., Suryawan I. G. P. A., 2019, *Uji Reaktor Gasifikasi Downdraft Biomassa sampah kota*, Jurnal ME TTEK Vol. 5, No. 2.
- Guo, F., Dong, Y., Dong, L., Guo, C. 2014. *Effect of Design and Operating Parameters on the Gasification Process of Biomass in a Downdraft Fixed Bed*. An Experimental Study. Science Direct International Journal of Hydrogen Energy. Volume 39. Issue 11. Pages 5625-5633.
- Ardiansyah I. M., 2017, *Studi Eksperimental Pengaruh Air Fuel Ratio (AFR) Proses Gasifikasi Pellet Municipal Solid Waste (MSW) Terhadap Unjuk Kerja Gasifier Tipe Downdraft system Kontiyu*, Tugas Akhir TM141585.
- Lailun N. & Sudjud D., 2012, *Karakterisasi Proses Gasifikasi Biomassa Tempurung Kelap a Sistem Downdraft Kontinyu dengan Variasi Perbandingan Udara Bahan Bakar (AFR) dan Ukuran Biomassa*, Jurnal Teknik ITS Vol. 1 No.1.



I Made Dony Mei Hermawan menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana, Program Studi Teknik Mesin, pada tahun 2021. Bidang penelitian yang menjadi konsentrasi adalah topik pembahasan konversi energi.

Pengaruh Variasi Temperatur Pirolisis *Fixed Bed* terhadap Massa Kondensat Bungkil Kemiri Sunan

I Wayan Widana, I Nyoman Suprpta Winaya, I Gede Putu Agus Suryawan
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Kebutuhan energi setiap harinya melonjak tak terkendali bersamaan dengan berjalannya waktu dan teknologi, akibatnya cadangan bahan bakar fosil di perut bumi semakin menipis. Maka dari itu pemerintah mulai mengembangkan biodiesel kemiri sunan agar bisa memenuhi kebutuhan manusia akan energi. Namun pengolahan biodiesel kemiri sunan dengan cara press/tekan menghasilkan limbah berupa bungkil kemiri sunan yang mana dalam bungkil kemiri sunan ini masih memiliki kandungan minyak yang tidak dapat dikeluarkan melalui proses tekan/press. Salah satu cara untuk mengeluarkan minyak ini yaitu melalui pirolisis. Penelitian ini dilakukan agar dapat mengetahui massa kondensat yang dihasil dari pirolisis dengan variasi temperatur yang sudah ditentukan sehingga dapat memberikan efek pada massa kondensat yang dihasilkan dari proses pirolisis. Proses pirolisis dilakukan dengan slow pyrolysis serta variasi temperatur yang dipakai mulai dari temperatur 250°C, 350°C, 450°C, 550°C, dan 650°C. Bahan bakar yang dipakai dalam pirolisis ini menggunakan bungkil kemiri sunan sebesar 300 g serta ditambahkan juga pasir besi sebesar 300 g dengan fungsi sebagai pemercepat proses pemanasan di dalam reaktor. Hasil massa kondensat tertinggi terdapat pada temperatur 650°C sebesar 99.18 g dan yang terendah pada temperatur 250°C sebesar 5.36 g. Sehingga jika temperatur yang diberikan semakin tinggi maka massa kondensat yang dihasilkan akan semakin tinggi juga.

Kata kunci: Pirolisis, Kondensat, Kemiri Sunan, Temperatur

Abstract

Energy needs increase uncontrollably every day along with the passage of time and technology, as a result, the reserves of fossil fuels in the bowels of the earth are running low. Therefore, the government has begun to develop kemiri sunan biodiesel so that it can meet human needs for energy. However, processing kemiri sunan biodiesel by pressing produces waste in the form of kemiri sunan cake, which in the kemiri sunan cake still contains oil that cannot be removed through the press process. One way to get this oil out is through pyrolysis. This research was conducted in order to determine the mass of condensate produced from pyrolysis with a predetermined temperature variation so that it can have an effect on the mass of condensate produced from the pyrolysis process. The pyrolysis process is carried out with slow pyrolysis and temperature variations ranging from 250 ° C, 350 ° C, 450 ° C, 550 ° C, and 650 ° C temperatures. The fuel used in this pyrolysis uses 300 g of candlenut cake and 300 g of iron sand is also added with the function of accelerating the heating process in the reactor. The highest condensate mass was found at a temperature of 650 ° C at 99.18 g and the lowest at a temperature of 250 ° C at 5.36 g. So that if the temperature given is higher, the mass of condensate produced will be even higher.

Keywords: Pyrolysis, Condensate, Kemiri Sunan, Temperature

1. Pendahuluan

Di zaman yang sekarang ini kebutuhan energi setiap harinya melonjak tak terkendali bersamaan dengan berjalannya waktu dan teknologi, mengakibatkan cadangan bahan bakar fosil di perut bumi semakin menipis. Energi yang sering digunakan oleh manusia adalah minyak bumi yang merupakan bahan bakar fosil yang mana bahan bakar ini tidak terbarukan sehingga semakin lama bahan bakar ini semakin langka. Maka dari itu diperlukan suatu energi terbarukan yang ramah lingkungan dan memiliki ketersediaan yang melimpah. Solusi dari permasalahan tersebut ialah beralih dengan mengembangkan bahan bakar biodiesel. Keunggulan dari penggunaan biodiesel diantaranya yaitu dapat diperbaharui, penggunaan energi yang lebih efisien, dapat menggantikan penggunaan pada bahan bakar diesel serta dapat digunakan pada kebanyakan motor diesel tanpa diperlukannya modifikasi, dapat mengurangi emisi penyebab pemanasan global, dan mudah digunakan [1].

Salah satu tanaman yang dapat diolah menjadi biodiesel adalah kemiri sunan. Keunggulan dari tanaman ini telah dimasukkan kedalam Kebijakan Energi Nasional (KEN) tahun 2014 yang mana merumuskan satu kebijakan untuk mengembangkan penelitian sampai dengan memproduksi bioenergi kemiri sunan [2]. Pada tahapan pengupasan buah kemiri sunan akan menghasilkan limbah yang berupa kulit buah, limbah ini dapat diproses menjadi pupuk. Sedangkan limbah bungkil atau ampas kemiri sunan setelah proses pengepressan, pada saat ini baru dimanfaatkan menjadi biobriket sebagai bahan bakar. [3]. Padahal pada bungkil kemiri sunan ini masih mengandung minyak namun sulit dikeluarkan dengan cara mekanis (press/tekan). Salah satu teknologi yang dapat mengekstraksi minyak dari bungkil kemiri sunan ialah dengan pirolisis yang nantinya akan menghasilkan produk minyak kondensat yang bisa menjadi produk tambahan untuk *bio-oil* hasil press/tekan dan dapat diproses lebih lanjut menjadi biodiesel.

Pirolisis merupakan proses dekomposisi termokimia biomassa menjadi beberapa produk dengan proses yang berlangsung tanpa atau sedikit oksigen. Selama pirolisis, ikatan molekul hidrokarbon yang besar dan kompleks akan terurai menjadi molekul yang kecil dalam bentuk gas yang dapat dikondensasikan (*bio-oil*), gas yang tidak dapat terkondensasikan (*syngas*), dan arang (*char*) [4].

Dalam proses pirolisis, massa kondensat yang dihasilkan dipengaruhi oleh temperatur yang digunakan pada saat proses pirolisis berlangsung. Maka dari itu penelitian mengenai pengaruh variasi temperatur pirolisis terhadap massa kondensat bungkil kemiri sunan perlu dilakukan, agar dapat mengetahui massa kondensat yang dihasilkan dari setiap temperaturnya.

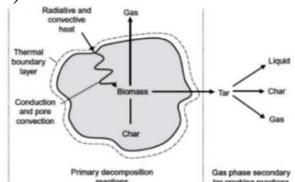
2. Dasar Teori

Kemiri sunan merupakan jenis tanaman kemiri yang beracun. Tanaman ini banyak tersebar di berbagai wilayah Indonesia. Buah kemiri sunan dominan terdiri atas 3 butir biji di dalamnya. Kemiri sunan terdiri dari kulit, cangkang, dan kernel, seperti pada gambar 1 dibawah. Komposisi pada kulit 62-68%, cangkang 11-16%, dan kernel/biji 16-27%. Pada kernel/biji ini terdapat rendemen minyak kasar sebesar 45-50%.



Gambar 1. (a) Buah, (b) Kulit, (c) cangkang, (d) kernel kemiri sunan

Sedangkan pirolisis merupakan suatu proses dekomposisi bahan bakar secara kimia dengan proses pemanasan yang tanpa atau sedikit oksigen. Pada proses pirolisis akan menghasilkan tiga jenis produk yaitu gas yang dapat dikondensasikan (*bio-oil*), gas yang tidak dapat terkondensasikan (*syngas*), dan arang (*char*).



Gambar 2. Proses pirolisis yang terjadi pada partikel biomassa

Ada beberapa jenis reaktor yang dapat digunakan pada pirolisis, yaitu reaktor pirolisis *fluidized bed*, reaktor pirolisis *entrained bed*, dan reaktor pirolisis *fixed bed*. Pada reaktor pirolisis *fixed bed*, panas yang dihasilkan didapat dari sumber eksternal dan membiarkan pemanasan terjadi di dalam reaktor tanpa atau sedikit oksigen. Produk gas akan mengalir keluar dikarenakan adanya ekspansi volume sedangkan arang sisa pembakaran akan tetap berada di dalam reaktor. Sedangkan kata *fixed bed* ini mengacu pada penggunaan katalis yang dengan keadaan diam di dalam reaktor. Dalam proses

pirolisis ini katalis berfungsi untuk mempercepat proses pirolisis. Dengan cara menyimpan panas dari *heater* dan akan melanjutkan panasnya ke bahan bakar dengan lebih stabil dan merata.

Pada penelitian ini katalis yang digunakan adalah pasir besi karena mudah didapatkan, mudah didaur ulang, dan harga terjangkau.



Gambar 3. Pasir besi

3. Metode Penelitian

Pada penelitian ini bahan dan alat yang digunakan sebagai berikut.

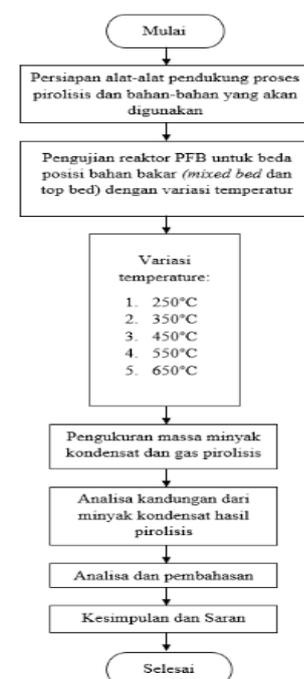
3.1 Bahan

Biomassa yang digunakan adalah bungkil kemiri sunan dengan rata-rata ukuran 1 mm dan dengan berat massa 300 g. Serta pasir besi seberat 300 g dengan ukuran 0.5 mm.

3.2 Alat

1. Reaktor pirolisis *fixed bed* (sebagai tempat terjadinya proses pirolisis)
2. *Thermocouple* (sebagai pemantau temperatur pada saat proses pirolisis)
3. kondensor (sebagai pendingin gas hasil pirolisis)
4. Pompa air (untuk mensirkulasikan air di dalam reaktor)
5. *Data logger* (sebagai pencatat data temperatur)
6. Timbangan (untuk menimbang massa kondensat).

3.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar 4. Diagram alir penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Data Hasil Penelitian

Data hasil penelitian ini didapatkan setelah melaksanakan penelitian pengamatan sesuai dengan metodologi yang tertera dan disajikan pada tabel 1 dibawah yang meliputi massa input bahan bakar, durasi operasional, dan massa kondensat. Operasional alat dimulai pada temperatur 0-250°C, 0-350°C, 0-450°C, 0-550°C, dan 0-650°C.

Tabel 1. Hasil penelitian pirolisis *fixed bed* pada bungkil kemiri sunan

Variasi Temperatur (°C)	Massa Input Bahan Bakar (g)	Durasi Operasional (s)	Massa Kondensat (g)
Variasi I (250)	300	3570 (0-250°C)	5.36
Variasi II (350)	300	4260 (0-350°C)	63.82
Variasi III (450)	300	4830 (0-450°C)	92.32
Variasi IV (550)	300	5070 (0-550°C)	96.88
Variasi V (650)	300	5340 (0-650°C)	99.18

Dari tabel hasil penelitian pirolisis di atas, massa kondensat tertinggi terdapat pada temperatur 650°C yaitu sebesar 99.18 g dan massa kondensat terendah terdapat pada temperatur 250°C yaitu sebesar 5.36 g. Jadi dapat disimpulkan bahwa, jika temperatur yang diberikan semakin tinggi maka massa kondensat yang dihasilkan akan semakin tinggi juga.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh variasi temperatur pirolisis *fixed bed* terhadap massa kondensat bungkil kemiri sunan. Dapat disimpulkan massa kondensat tertinggi terdapat pada temperatur 650°C yaitu sebesar 99.18 g dan massa kondensat terendah terdapat pada temperatur 250°C yaitu sebesar 5.36 g. sehingga semakin tinggi temperatur yang digunakan dalam proses pirolisis maka semakin tinggi juga massa kondensat yang dihasilkan.

Daftar Pustaka

- [1] Tyson K. S., Bozell J., Wallace R., Petersen E., Moens L., 2004, *Biomass Oil Analysis : Research Needs and Recommendations*, National Renewable Energy Laboratory, U.S.
- [2] Purnomo H., 2014, *Laporan Dewan Energi Nasional*, Sekretariat Jendral Dewan Energi Nasional, Jakarta
- [3] Hendra D., Pangersa Gusti R.E., Komarayati S., 2014, *Pemanfaatan Limbah Tempurung Kemiri Sunan (Aleuriteus trisperma) Sebagai Bahan Baku pada Pembuatan Arang Aktif*. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, Vol. 32, No. 4, pp. 271–282.

- [4] Basu P., 2013, *Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction, Practical Design and Theory*, 32 Jamestown Road, London NW1 7BY, UK, 525 B Street, Suite 1800, San Diego, CA 9210-4495, USA, Published by Elsevier Inc.



I Wayan Widana, menyelesaikan studi Program Sarjana di Jurusan Teknik Mesin, Universitas Udayana pada tahun 2021. Ia menyelesaikan studi dengan topik Pengaruh Variasi Temperatur Pirolisis *Fixed Bed* Terhadap Massa Kondensat Bungkil Kemiri Sunan.

Topik penelitian yang diminati yaitu berkaitan dengan *renewable energy* dan *energy conversion*.

Analisis Pengaruh Diameter Lubang Katup Limbah Pada Pompa Hidram Terhadap Kecepatan Aliran Dalam Pipa Penggerak Dan Efisiensi Pompa

Martin Maruli Tua, Made Suarda, Made Sucipta

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Udayana Kampus Bukit Jimbaran, Bali 80326

Abstrak

Penggunaan pompa hidraulik ram atau pompa hidram yang sangat efektif menyebabkan masyarakat pedesaan membutuhkan kemampuan untuk dapat membawa air ke yang lebih tinggi dari sebelumnya karena pengoperasiannya tidak memerlukan listrik dan bahan bakar. Pada pompa, katup limbah tersebut membantu mengubah energi kinetik pada pipa penggerak menjadi energi tekanan dinamis fluida dan menyebabkan fluida kerja dapat bergerak ke arah tabung udara pada prosesnya. Penelitian ini berusaha untuk mengeksplorasi ukuran dan bentuk dari lubang katup limbah yang masih dapat divariasikan karena memungkinkan adanya peningkatan kecepatan aliran di dalam pipa penggerak. Dalam penelitian ini digunakan variasi diameter lubang katup limbah dengan ukuran 26 milimeter, 31 milimeter, 36 milimeter, 41 milimeter, serta ukuran 46 milimeter. Pada penelitian ini menggunakan pompa hidram dari pipa dengan material galvanis yang ditambah dengan perangkat orifice flowmeter pada sambungan pipa antara pipa penggerak dan badan pompa, serta National Instrument CDAQ 9171 untuk menangkap pola dan karakteristik aliran air. Hasil pengujian flowmeter menunjukkan bahwa pompa hidram dengan diameter lubang katup limbah berukuran 36 mm dan Head pemompaan 2.0 bar menghasilkan kecepatan aliran tertinggi, dan unjuk kerja paling tinggi ditunjukkan pada diameter lubang katup limbah berukuran 41 mm dengan Head Pemompaan 0.5 Bar.

Kata Kunci : Pompa Hidram, Katup Limbah, Pipa Penggerak, Kecepatan Aliran, Efisiensi Pompa

Abstract

The use of ram hydraulic pumps or hydraulic pumps which are very effective means that rural communities need their ability to move air from low to higher places because they do not need fuel or electrical energy. The waste valve on the pump helps convert the kinetic energy in the drive pipe into fluid dynamic pressure energy and causes the working fluid to move towards the air tube in the process. This research attempts to explore the size and shape of the waste valve which can still be varied because it supports the increase in flow velocity in the drive pipe. In this study, a variation of the diameter of the waste valve holes was used with sizes 26 mm, 31 mm, 36 mm, 41 mm, and 46 mm. The hydram pump used in this study is a pipe with galvanized material coupled with an orifice flowmeter on the pipe connection between the drive pipe and the pump body, as well as the National Instrument CDAQ 9171 to capture air patterns and flow. The results of the flowmeter show that the hydram pump with a test valve hole diameter of 36 mm and a pumping head of 2.0 bar produces the highest flow speed, and the highest performance is shown in the diameter of the waste valve hole measuring 41 mm with a pumping head of 0.5 Bar.

Key Words : Hydram Pump, Waste Valve, Drive Pipe, Waterflow Velocity, Pump Efficiency

1. Pendahuluan

Pompa hidraulik ram (pompa hidram) merupakan pompa air sederhana yang berfungsi untuk memindahkan sebagian air ketempat lebih tinggi dari sebelumnya. Pompa hidram tidak memerlukan bahan bakar ataupun energi listrik dalam pengoperasiannya [1]. Hal tersebut berarti pompa hidram sangat baik untuk digunakan, terlebih pada masyarakat yang berada di pedesaan dengan listrik yang kurang memadai dan jalur suplai logistik yang sulit.

Komponen unit pompa hidram terdiri atas badan pompa hidram dan dua buah katup yang

bekerja secara konstan. Kedua katup tersebut merupakan katup penghantar dan katup limbah yang bergerak menutup dan menekan secara bergantian dengan otomatis, dan tabung udara [2]. Selain itu, adapun sistem penyalur yang terdiri dari pipa transmisi/penyalur, dan reservoir.

Katup limbah menjadi salah satu bagian yang dianggap penting pada pompa hidram. Hal tersebut menjadikan katup limbah untuk dapat dirancang dengan teliti agar berat serta gerakannya dapat disesuaikan. Adapun fungsi dari katup limbah yaitu mengubah energi yang terdapat pada pipa penggerak, yang semula energi kinetik menjadi

energi tekanan dinamis fluida dan kinerja pada fluida tersebut akan menuju ke tabung udara [3]. Dengan jumlah gaya tarik dan gaya tekanan air yang lebih besar dari berat katup limbah akan mengakibatkan katup limbah menutup secara otomatis dan kemudian membuka kembali jika gaya tekanan air lebih rendah.

Gerakan katup limbah dapat dipengaruhi oleh kecepatan aliran. Selain itu, gerakan katup limbah dapat disebabkan oleh parameter yaitu diameter pipa, tinggi reservoir dan panjang pipa [4]. Terdapat beberapa studi terdahulu terkait parameter tersebut, seperti studi yang dilakukan oleh Young (1997) dan Suarda dkk (2018) mengenai diameter lubang yang terdapat pada katup limbah dengan unjuk kerja. Selain itu, adapun studi pendahuluan yang telah dilakukan Inversin (1978), Chi dan Diemer (2002), Mishra (2018), dan Januddi dkk (2018) mengenai panjang langkah katup limbah terhadap unjuk kerja pompa hidram. Serta, penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Mbiu (2015), Rajaonison dan Rakotondramiarana (2019) mengenai massa yang terdapat pada katup limbah dengan unjuk kerja yang terdapat pada pompa hidram. Akan tetapi studi pendahuluan mengenai pengaruh diameter lubang katup limbah terhadap kecepatan aliran dalam pipa penggerak belum banyak ditemukan.

Dengan melihat kajian yang telah dijelaskan sebelumnya, maka perancangan katup limbah masih dapat diubah untuk mendapatkan unjuk kerja yang lebih baik. Untuk itu, penelitian ini akan meneliti pengaruh diameter katup limbah terhadap kecepatan aliran yang terdapat dalam pipa penggerak dan unjuk kerja pompa hidram.

2. Metode Penelitian

2.1 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi diameter lubang katup limbah terhadap kecepatan aliran pada pipa penggerak.
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi diameter lubang katup limbah terhadap efisiensi pompa.

2.2 Prosedur Pengujian

Berikut ini beberapa tahapan sebagai bagian dari prosedur pengujian laju aliran pada sistem pompa hidram yang dilakukan, sebagai berikut:

1. Mempersiapkan bahan yang diperlukan seperti pompa dan alat bantu pengujian katup tekan. Selain itu, perlu memperhatikan ketinggian air suplay yakni $ZS = 1,82$ meter, memiliki diameter pipa penggerak $DS = 1\frac{1}{4}$ inchi dan panjang $Ls = 9,12$ meter.

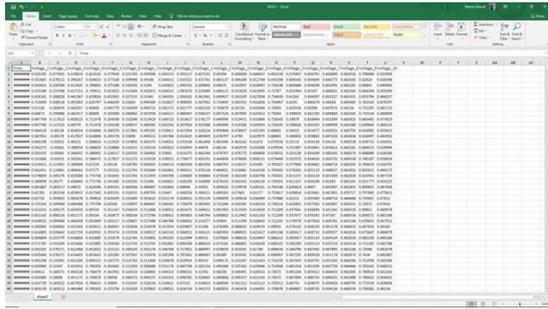
2. Memasang peralatan data *logger* dan rangkaian kabelnya.
3. Melakukan *setup* pompa hidram dengan menggunakan model dudukan katup limbah $d = 46$ mm
4. Melakukan *setup* dengan ketinggian pemompaan $Zd = 2$ meter.
5. Mengalirkan air ke bak penggerak hingga ketinggian lubang yang *over-flow*. Hal ini pun perlu dijaga dengan kondisi yang *over-flow* agar ketinggian yang terdapat pada pada *head* penggeraknya menjadi konstan.
6. Membuka katup suplai. Hal ini dilakukan untuk membuat air dari bak *drive* dapat mengalir dengan baik ke badan pompa.
7. Melakukan *start* kerja pompa dengan cara membuka dan menutup katup limbah. Hal ini dilakukan agar pompa mampu bekerja dan membiarkan pompa tersebut berjalan beberapa saat sampai pada pompa hidram beroperasi pada frekuensi yang konstan.
8. Melakukan *setup head* tekanan pemompaan dengan $(Pd) 0,5$ bar.
9. Melakukan pencatatan data tekanan pada manometer pipa transmisi air pemompaan (Pd) , dan distribusi tekanan pada: badan pompa $(P1, P2, P3, P4)$, di bawah katup tekan $(P5)$, di atas katup tekan $(P6)$, di pipa *outlet* pompa $(P7)$, tabung udara $(P8)$ dan *orifice flowmeter* $(P9, P10)$.
10. Mengulangi langkah nomor 9 sebanyak 3 (tiga) kali.
11. Mengulangi langkah nomor 8 sampai dengan 10 untuk head tekanan pemompaan $(Pd) 1,0; 1,5; 2,0; 2,5$ bar.
12. Mengulangi langkah 3 sampai dengan 11 untuk model katup limbah $d = 41$ mm; 36 mm; 31 mm; dan 26 mm

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Data Hasil Penelitian

Data penelitian yang dilakukan adalah menganalisis pengaruh yang terdapat pada diameter lubang katup limbah pada pompa hidram terhadap kecepatan aliran pipa penggerak dan efisiensi pompa. Penelitian ini menggunakan pipa dengan material galvanis yang ditambah dengan perangkat *orifice flowmeter* pada sambungan pipa antara pipa penggerak dan badan pompa. Hal ini dilakukan untuk memudahkan dalam melakukan pengambilan data laju aliran. Selain menggunakan unit pompa hidram dan *orifice flowmeter*, dibutuhkan juga *National Instrument CDAQ 9171* untuk menangkap pola dan karakteristik aliran air di dalam pompa hidram. Hal tersebut dilakukan dengan cara mencatat data yang ada dan kemudian hasil catatan

data tersebut dikonversi menjadi grafik profil kecepatan seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Contoh hasil pengambilan data menggunakan NI LabView

3. 1. 1 Kecepatan Aliran pada Pipa Penggerak
Tabel 1. Debit Pemompaan Pada Setiap Variasi

Variasi DL (mm)	Head Pemompaan (Bar)	Debit Pemompaan (m ³ /menit)							Rata-rata	
26	0.5	0.00380	0.00390	0.00370	0.00390	0.00370	0.00380	0.00390	0.00370	0.00380
	1	0.00040	0.00040	0.00040	0.00040	0.00040	0.00040	0.00040	0.00040	0.00040
	1.5*	0.00055	0.00050	0.00060	0.00055	0.00050	0.00055	0.00060	0.00055	0.00055
	2.0*	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019
31	0.5	0.00250	0.00270	0.00250	0.00230	0.00250	0.00250	0.00270	0.00230	0.00250
	1	0.00030	0.00030	0.00030	0.00030	0.00030	0.00030	0.00030	0.00030	0.00030
	1.5*	0.00078	0.00078	0.00078	0.00078	0.00078	0.00078	0.00078	0.00078	0.00078
	2*	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003
36	0.5	0.00305	0.00305	0.00305	0.00305	0.00305	0.00305	0.00305	0.00305	0.00305
	1	0.00090	0.00090	0.00090	0.00090	0.00090	0.00090	0.00090	0.00090	0.00090
	1.5	0.00140	0.00150	0.00130	0.00150	0.00130	0.00140	0.00140	0.00140	0.00140
	2	0.00070	0.00070	0.00070	0.00070	0.00070	0.00070	0.00070	0.00070	0.00070
41	0.5	0.00530	0.00530	0.00530	0.00530	0.00530	0.00530	0.00530	0.00530	0.00530
	1	0.00215	0.00215	0.00215	0.00215	0.00215	0.00215	0.00215	0.00215	0.00215
	1.5	0.00120	0.00120	0.00120	0.00120	0.00120	0.00120	0.00120	0.00120	0.00120
	2	0.00045	0.00045	0.00045	0.00045	0.00045	0.00045	0.00045	0.00045	0.00045
46	0.5	0.00450	0.00450	0.00450	0.00450	0.00450	0.00450	0.00450	0.00450	0.00450
	1	0.00195	0.00195	0.00195	0.00195	0.00195	0.00195	0.00195	0.00195	0.00195
	1.5	0.00100	0.00100	0.00100	0.00100	0.00100	0.00100	0.00100	0.00100	0.00100
	2	0.00004	0.00004	0.00004	0.00004	0.00004	0.00004	0.00004	0.00004	0.00004

Tabel 2. Pressure Drop Maksimum Pada Setiap Variasi

Variasi DL (mm)	Head Pemompaan (Bar)	P9 (Bar)	P10 (Bar)	Debit Pemompaan (m ³ /menit)
26	0.5	1.444846	0.334009	0.00380
	1.0	2.624314	0.688438	0.00400
	1.5*	4.850407	0.607551	0.00500
	2.0*	4.948942	0.808541	0.00190
31	0.5	1.473769	0.152628	0.00250
	1.0	1.919378	0.418327	0.00300
	1.5*	4.039581	0.708046	0.00078
	2.0*	4.959727	0.868348	0.00003
36	0.5	1.63211	0.393816	0.00305
	1.0	2.48166	0.635984	0.00090
	1.5	3.303269	0.131058	0.00140
	2.0	5.481813	0.853151	0.00070
41	0.5	1.942909	0.397738	0.00530
	1.0	2.736575	0.732557	0.00215
	1.5	3.469944	0.679614	0.00120
	2.0	4.161646	0.868838	0.00045
46	0.5	1.988499	0.348716	0.00450
	1.0	2.309593	0.44725	0.00195
	1.5	3.703289	0.803149	0.00100
	2.0	4.537646	0.93943	0.00004

Untuk memperoleh kecepatan aliran pada pipa penggerak, pertama-tama dibutuhkan debit pemompaan yang dibutuhkan pada setiap variasi. Untuk mengetahui debit pemompaan secara presisi maka dilakukan pengambilan data debit pemompaan sebanyak beberapa kali. Dari data yang telah didapatkan maka akan dijadikan tabel dari perhitungan yang dilakukan lebih dari dua kali dengan menggunakan stopwatch dengan waktu 1 menit. Tabel 1 menunjukkan debit pemompaan pada setiap variasi diameter lubang.

Untuk mencari kecepatan aliran pada pipa penggerak digunakan pipa yang menggunakan

material galvanis yang ditambah dengan perangkat orifice flowmeter pada sambungan pipa antara pipa penggerak dan badan pipa. Hal ini dilakukan untuk memudahkan dalam melakukan pengambilan data laju aliran.

Pada Tabel 2 menunjukkan pressure drop maksimum pada setiap variasi. Pressure drop menggunakan rumus persamaan, sebagai berikut:

Untuk memperoleh kecepatan aliran pada pipa penggerak, pertama-tama dibutuhkan debit pemompaan yang dibutuhkan pada setiap variasi. Untuk mengetahui debit pemompaan secara presisi maka dilakukan pengambilan data debit pemompaan sebanyak beberapa kali. Dari data yang telah didapatkan maka akan dijadikan tabel dari perhitungan yang dilakukan lebih dari dua kali dengan menggunakan stopwatch dengan waktu 1 menit. Tabel 1 menunjukkan debit pemompaan pada setiap variasi diameter lubang.

Untuk mencari kecepatan aliran pada pipa penggerak digunakan pipa yang menggunakan material galvanis yang ditambah dengan perangkat orifice flowmeter pada sambungan pipa antara pipa penggerak dan badan pipa. Hal ini dilakukan untuk memudahkan dalam melakukan pengambilan data laju aliran.

$$P_9 = 1.62547 \text{ bar} = 16254.7 \text{ N/m}^2$$

$$P_{10} = 0.735989 \text{ bar} = 73598.9 \text{ N/m}^2$$

$$Cd = y = 1E-20x^{4.5625} = 0.151809$$

$$q = 0.151809 \frac{3.14 \times 0.025^2}{4} \left[\frac{2 \times (144484.6 - 33400.9)}{1000 \times (1 - 0.787^4)} \right]^{1/2} = 0.0014$$

14 m³/s.

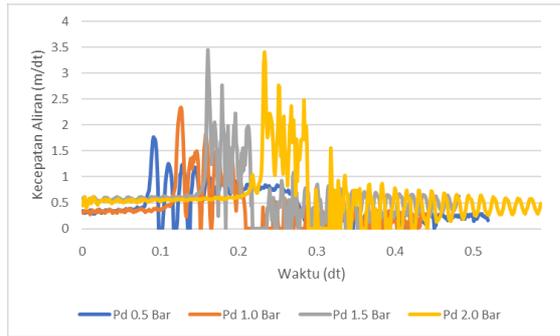
$$A = 0.0008 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{0.001414}{0.0008} = 1.767553 \text{ m}^3/\text{s}$$

Dengan menggunakan prosedur yang sama, maka diperoleh Cd. Berikut ini adalah Tabel 3 yang menunjukkan pressure drop maksimum.

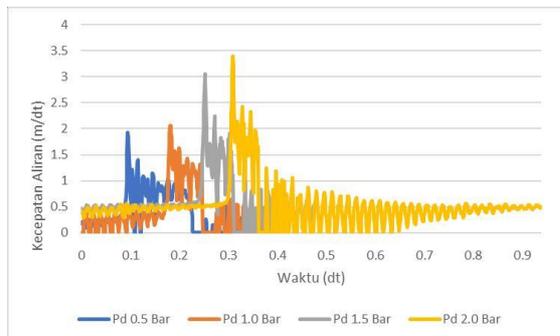
Tabel 3. Pressure Drop Maksimum Pada Setiap Variasi

Variasi DL (mm)	Head Pemompaan (Bar)	P9 (Bar)	P10 (Bar)	q (m ³ /dt)	v (m/s)
26	0.5	1.444846	0.334009	0.001414	1.767553
	1.0	2.624314	0.688438	0.001867	2.333383
	1.5*	4.850407	0.607551	0.002764	3.454430
	2.0*	4.948942	0.808541	0.002730	3.412467
31	0.5	1.473769	0.152628	0.001542	1.927622
	1.0	1.919378	0.418327	0.001644	2.054684
	1.5*	4.039581	0.708046	0.002449	3.061043
	2.0*	4.959727	0.868348	0.002714	3.392205
36	0.5	1.63211	0.393816	0.001493	1.866204
	1.0	2.48166	0.635984	0.001823	2.278374
	1.5	3.303269	0.131058	0.002390	2.986952
	2.0	5.481813	0.853151	0.002886	3.608070
41	0.5	1.942909	0.397738	0.001668	2.084651
	1.0	2.736575	0.732557	0.001899	2.374095
	1.5	3.469944	0.679614	0.002241	2.801399
	2.0	4.161646	0.868838	0.002435	3.043199
46	0.5	1.988499	0.348716	0.001718	2.147536
	1.0	2.309593	0.44725	0.001831	2.288638
	1.5	3.703289	0.803149	0.002285	2.855990
	2.0	4.537646	0.93943	0.002545	3.181199



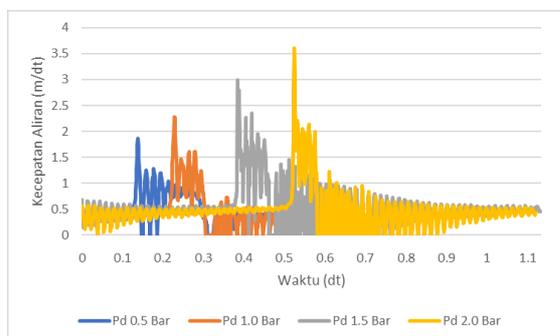
Gambar 2. Grafik Kecepatan $D_L = 26$ mm; $P_d = 0.5$ Bar

Pada Gambar 2 menunjukkan grafik kecepatan, dimana D_L berukuran sebesar 26 mm dan Pd 2.0 bar. Gambar tersebut menunjukkan kecepatan aliran yang paling tinggi dan menjadi 1 siklus terpanjang yang memerlukan waktu lebih dari 0.5 detik.



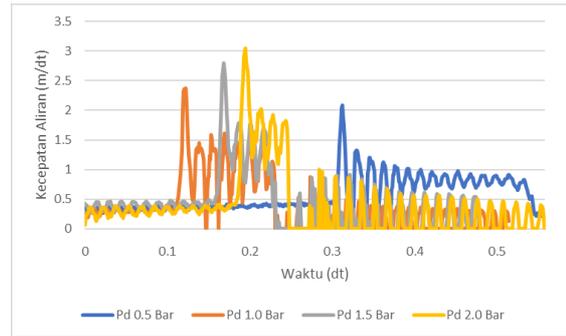
Gambar 3. Grafik Kecepatan $D_L = 31$ mm

Pada Gambar 3 menunjukkan grafik kecepatan dengan D_L berukuran sebesar 31 mm dan Pd 2.0 bar. Dari gambar tersebut menghasilkan kecepatan aliran paling tinggi dan menjadi 1 siklus terpanjang yang memerlukan waktu lebih dari 0.9 detik.

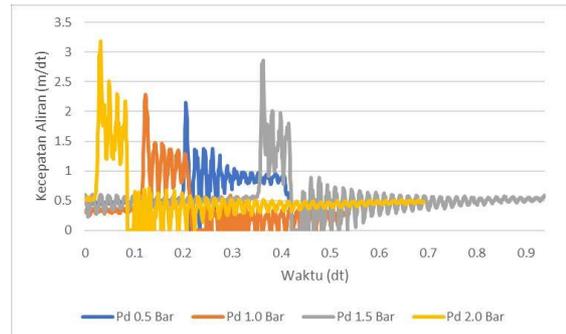


Gambar 4. Grafik Kecepatan $D_L = 36$ mm

Pada Gambar 4 menunjukkan grafik kecepatan dengan D_L berukuran sebesar 36 mm dan Pd sebesar 2.0 bar, yang menghasilkan kecepatan aliran paling tinggi dan menjadi 1 siklus terpanjang yang memerlukan waktu lebih dari 1.1 detik.



Gambar 5. Grafik Kecepatan $D_L = 41$ mm



Gambar 6. Grafik Kecepatan $D_L = 46$ mm

Tabel 4. Kecepatan aliran tertinggi pada pipa penggerak

Variasi DL (mm)	Head Pemompaan (Bar)	v (m/s)
26	0.5	1.767553
	1.0	2.333383
	1.5*	3.454430
	2.0*	3.412467
31	0.5	1.927622
	1.0	2.054684
	1.5*	3.061043
	2.0*	3.392205
36	0.5	1.866204
	1.0	2.278374
	1.5	2.986952
	2.0	3.608070
41	0.5	2.084661
	1.0	2.374095
	1.5	2.801399
	2.0	3.043199
46	0.5	2.147536
	1.0	2.288638
	1.5	2.855990
	2.0	3.181199

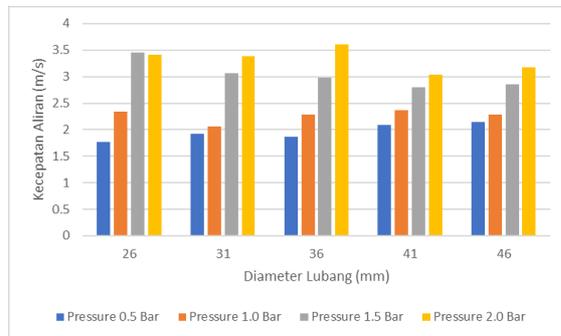
Pada Gambar 5 menunjukkan grafik kecepatan dengan D_L yang berukuran 41 mm dengan Pd 2.0 bar. Grafik kecepatan pada gambar tersebut menghasilkan kecepatan aliran paling tinggi dan memerlukan waktu lebih cepat untuk

mencapai titik kompresi dibanding dengan Pd 0.5 bar tetapi membutuhkan waktu lebih dari 0.5 untuk mencapai 1 siklus. Hal tersebut dikarenakan terdapat perbedaan ukuran pipa penggerak dan tekanan dalam lubang udara sehingga terjadinya perbedaan waktu yang dibutuhkan dalam 1 siklus tersebut.

Pada Gambar 6 menunjukkan kecepatan aliran dengan D_L yang berukuran 46 mm dan Pd 2.0 bar, yang menghasilkan kecepatan aliran paling tinggi dan membutuhkan paling cepat.

Data grafik kecepatan tersebut diambil titik tertinggi pada 1 siklus. Pada grafik tersebut akan diubah menjadi bentuk tabel untuk merincikan dan menjelaskan secara jelas.

Data kecepatan tersebut kemudian diubah ke dalam bentuk grafik.



Gambar 7. Grafik Kecepatan Aliran Setiap D_L 3.2 Performansi Pompa Hidram

Performansi pompa hidram terdiri dari debit pemompaan pompa hidram. Selain itu, adapun dari frekuensi pergerakan yang terdapat pada katup pompa hidram, dan periode pergerakan yang terdapat didalamnya.

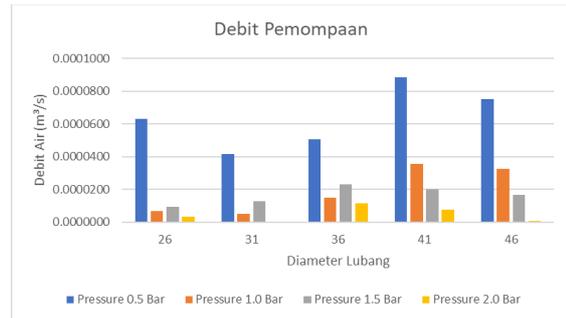
3.2.1 Debit Pemompaan Pompa Hidram

Tabel 5. Debit Pemompaan

Variasi DL (mm)	Head Pemompaan (Bar)	Debit Pemompaan (m ³ /s)
26	0.5	0.000063
	1	0.000007
	1.5*	0.000009
	2*	0.000003
31	0.5	0.000042
	1	0.000005
	1.5*	0.000013
36	2*	0.000000
	0.5	0.000051
	1	0.000015
41	1.5	0.000023
	2	0.000012
	0.5	0.000088
46	1	0.000036
	1.5	0.000020
	2	0.000008
46	0.5	0.000075
	1	0.000033
	1.5	0.000017
46	2	0.000001

Data debit pemompaan pompa hidram didapatkan dengan cara perhitungan manual menggunakan *flowmeter*. Hasil perhitungan waktu pemompaan untuk mencapai 1 menit tersebut kemudian dikonversi, sehingga didapatkan nilai debit pemompaan (Qd) dalam satuan m³/s.

Data debit pemompaan pada tabel 5 kemudian diubah ke dalam bentuk diagram batang untuk melihat pengaruh diameter lubang badan katup pengantar terhadap debit pemompaan.



Gambar 8. Grafik Debit Limbah 3.2.2 Debit Limbah Pompa Hidram

Tabel 6. Debit Limbah

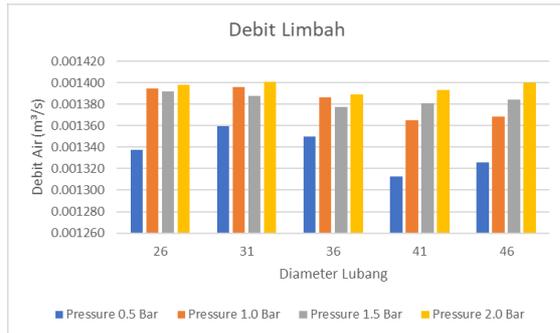
Variasi DL (mm)	Head Pemompaan (Bar)	Debit Limbah (m ³ /s)
26	0.5	0.001338
	1	0.001394
	1.5*	0.001392
	2*	0.001398
31	0.5	0.001359
	1	0.001396
	1.5*	0.001388
36	2*	0.001401
	0.5	0.001350
	1	0.001386
41	1.5	0.001378
	2	0.001389
	0.5	0.001313
46	1	0.001365
	1.5	0.001381
	2	0.001394
46	0.5	0.001326
	1	0.001369
	1.5	0.001384
46	2	0.001400

Data debit limbah pompa hidram didapatkan dengan cara perhitungan manual menggunakan QS - QD. Hasil perhitungan tersebut kemudian dikonversi, sehingga didapatkan nilai debit pemompaan (Qw) dalam satuan m³/s.

$$Q_w = Q_s - Q_d$$

$$Q_w = 0.001401 - 0.0000633 = 0.001338 \text{ m}^3/\text{s}$$

Data debit limbah pada Tabel 6 kemudian diubah ke dalam bentuk diagram batang untuk melihat pengaruh diameter lubang badan katup pengantar terhadap debit pemompaan.



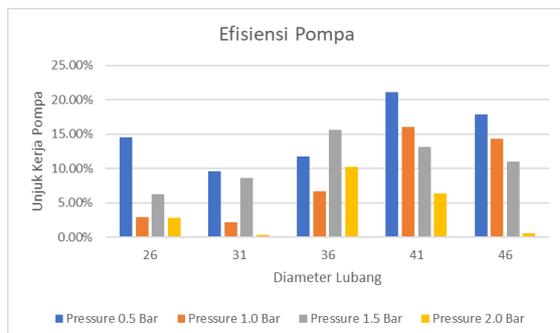
Gambar 9. Grafik Debit Limbah

3.2.3 Efisiensi Pompa Hidram

Efisiensi pompa hidram dilakukan dengan menggunakan parameter-parameter yang telah dicari sebelumnya. Parameter yang diperlukan untuk mendapatkan nilai efisiensi pompa hidram. Seperti yang telah dikatakan oleh D'Aubuisson diantaranya mengenai debit pemompaan, debit pembuangan, head ketinggian sumber dan head ketinggian pemompaan. Diketahui head ketinggian sumber pompa hidram berada pada ketinggian 1,82 m dan head pemompaan pompa hidram berada pada ketinggian 2 m. Data efisiensi pompa hidram disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Efisiensi Pompa Hidram

Variasi DL (mm)	Head Pemompaan (Bar)	Kecepatan Maksimal (m/s)	Efisiensi %
26	0.5	1.768	14.84%
	1	2.333	3.02%
	1.5*	3.454	6.39%
	2.0*	3.412	2.86%
31	0.5	1.928	9.96%
	1	2.055	2.21%
	1.5*	3.061	8.82%
	2.0*	3.392	0.36%
36	0.5	1.866	12.05%
	1	2.278	6.75%
	1.5	2.987	15.74%
	2	3.608	10.46%
41	0.5	2.085	21.50%
	1	2.374	16.21%
	1.5	2.801	13.36%
	2	3.043	6.58%
46	0.5	2.148	18.41%
	1	2.289	14.63%
	1.5	2.856	11.19%
	2	3.181	0.62%



Gambar 10. Grafik Efisiensi Pompa Hidram

4. Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan dengan eksperimen lubang katup limbah dan Head

pemompaan pada pompa hidram terhadap kecepatan aliran pada pipa penggerak dan efisiensi pompa, didapatkan hasil bahwa pompa hidram dengan diameter lubang katup limbah berukuran 36 mm dan Head pemompaan (Pd) 2.0 bar menghasilkan debit pemompaan paling tinggi. Hal ini dapat dilihat pada hasil dari kecepatan aliran tertinggi yang ada pada pipa penggerak. Berdasarkan grafik pengujian yang telah dilakukan, unjuk kerja pompa terbaik terdapat pada diameter lubang yang berukuran 41 mm dan Head pemompaan (Pd) 0.5.

Untuk itu, masukan yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya ialah untuk mengubah diameter pipa penggerak dan panjang pipa penggerak untuk mengetahui perbandingan kecepatan dan efisiensi pada pompa.

Daftar Pustaka

- [1] Alkouhi, R.F., Lashkar-Ara, B., dan Keramat, A., 2015, *Determine the Efficiency of Hydraulic Ram Pumps*. E-Proceedings of the 36th IAHR World Congress. 28 June – 3 July. Netherland.
- [2] Utomo, G. P. Et Al., 2015, *Analisa Pengaruh Tinggi Jatuhan Air Terhadap*, Vol.1 No. 2, pp. 211–224.
- [4] Adnyana I. P. E., Sukadana I. G. K. And Suarda M., 2017, *Pengaruh Variasi Diameter Katup Limbah Terhadap Unjuk Kerja Pompa Hydram*, Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika, Vol. 6 No. 1.
- [5] Utomo G. P. Et Al, 2015, *Analisa Pengaruh Tinggi Jatuhan Air Terhadap*, Vol.1 No. 2,pp. 211–224.



Martin Maruli menyelesaikan suti S1 di Universitas Udayana, pada tahun 2021. Bidang konsentrasi yang diminati adalah konversi energi

Topik yang diangkat dalam tugas akhir/ skripsi berupa kecepatan aliran dan efisiensi pada pompa hidram

Karakteristik Mekanik Komposit Polyester Berpenguat Serat Sisal Yang Diekstrak Dengan Metode Dekortikasi

I Made Mandala Putra Utama, Tjokorda Gde Tirta Nindhia, I Wayan Surata
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Komposit merupakan material yang dibuat untuk menggantikan material logam. Komposit memiliki sifat mekanis yang baik. Dalam hal ini dilakukan penelitian dan pembuatan komposit berpenguat serat alam yang diharapkan mampu bersaing dengan logam. Penelitian ini menggunakan serat sisal yang diekstraksi dengan metode dekortikasi dan menggunakan matriks polyester jenis Yukalac 157 BQTN dengan penambahan katalis 1%. Selanjutnya diberikan perlakuan NaOH dengan variasi 2,5%, 5%, dan 7,5% selama 2 jam. Dari hasil kekuatan tarik serat tunggal diperoleh nilai tertinggi pada perlakuan NaOH 5% selama 2 jam sebesar 639,80 MPa. Selanjutnya digunakan mencetakan komposit dengan teknik hand lay-up dengan variasi fraksi berat serat 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% orientasi serat acak dengan panjang serat 3 cm. Komposit dipotong sesuai dengan standar ASTM D638 untuk uji tarik dan ASTM D790-02 untuk uji lentur. Kekuatan tarik komposit polyester berpenguat serat sisal yang diekstraksi dengan metode dekortikasi tertinggi ada pada fraksi berat serat 10% dengan nilai sebesar 34,73 MPa dan terendah 11,81 MPa pada fraksi berat serat 0%. Sedangkan untuk kekuatan lentur komposit tertinggi 91,30 MPa terjadi pada fraksi berat serat 0% dan menurun 64,25 MPa. Pada fraksi berat serat 2,5% meningkat dan puncaknya pada fraksi berat serat 10% dengan nilai sebesar 87,58 MPa.

Kata kunci: Serat sisal, serat tunggal, kekuatan tarik, kekuatan lentur.

Abstract

Composite is a material that is made to replace metal materials. Composites have good mechanical properties. In this case, research and manufacture of natural fiber reinforced composites which are expected to be able to compete with metals are carried out. This study used sisal fiber extracted by decortication method and using a polyester matrix type Yukalac 157 BQTN with the addition of 1% catalyst. Then given NaOH treatment with variations of 2.5%, 5%, and 7.5% for 2 hours. From the results of the tensile strength of a single fiber, the highest value was obtained in the 5% NaOH treatment for 2 hours at 639.80 MPa. Furthermore, it was used to map the composites with the hand lay-up technique with variations in the fiber weight fraction of 0%, 2.5%, 5%, 7.5%, and 10% random fiber orientation with a fiber length of 3 cm. The composites are cut according to ASTM D638 standards for tensile tests and ASTM D790-02 for bending tests. The tensile strength of the sisal fiber reinforced polyester composite extracted by the highest decortication method was in the fiber weight fraction of 10% with a value of 34.73 MPa and the lowest was 11.81 MPa at 0% fiber weight fraction. Meanwhile, for the highest composite flexural strength 91.30 MPa occurred at 0% fiber weight fraction and decreased by 64.25 MPa. The fiber weight fraction of 2.5% increases and peaks at 10% fiber weight fraction with a value of 87.58 MPa.

Keywords: Sisal fiber, Single fiber, Tensile strength, Flexural strength.

1. Pendahuluan

Perkembangan ilmu pengetahuan di bidang manufaktur dan konstruksi saat ini didominasi material logam. Logam memiliki sifat mekanis yang baik sehingga mengakibatkan permintaan logam semakin meningkat. Akan tetapi, penggunaan material logam seiring berjalannya waktu sudah mulai berkurang dan digantikan dengan material non-logam seperti komposit.

Serat adalah unsur utama dalam komposit yang dibagi menjadi dua jenis yaitu serat sintetis dan serat alam. Komposit berpenguat serat sintetis memiliki sifat mekanik yang baik namun tidak ramah lingkungan, biaya produksi yang mahal, dan sulit terdegradasi secara alami (*non-biodegradable*). Sementara itu, serat alam mempunyai keuntungan biaya produksi rendah, dapat di daur ulang, mampu

terdegradasi secara alami dan dapat di perbaharui (*renewable*), keuntungan-keuntungan inilah komposit berpenguat serat alam yang dikembangkan menjadi bahan alternatif pengganti bahan logam [1].

Sisal merupakan salah satu tanaman berasal dari alam dan mudah dibudidayakan. Sisal memiliki kandungan selulosa cukup tinggi sekitar 85-88%, sehingga banyak digunakan sebagai penguat dalam komposit [2].

Sifat serat alam dari hasil pertanian dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya metode ekstraksi serat. Proses ekstraksi serat sisal dapat dilakukan dengan metode pembusukan (*water retting*) maupun dengan dekortikasi (*decortication*). Proses ekstraksi menggunakan dekortikasi memiliki keunggulan selain prosesnya lebih cepat dan efisien waktu, serat yang di hasilkan berkualitas baik [3]. Hal ini disebabkan tidak terjadinya oksidasi selulosa sehingga kekuatan jauh

lebih baik dibandingkan hasil dengan metode pembusukan [4].

Dalam penelitian ini adapun permasalahan yang akan dikaji sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik kekuatan tarik serat tunggal sisal dengan perlakuan NaOH yang diekstraksi dengan metode dekortikasi?
2. Bagaimana karakteristik kekuatan tarik komposit polyester berpenguat serat sisal yang diekstraksi dengan metode dekortikasi?
3. Bagaimana karakteristik kekuatan lentur komposit polyester berpenguat serat sisal yang diekstraksi dengan metode dekortikasi?

2. Dasar Teori

2.1. Komposit

Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari dua atau lebih bahan yang memiliki sifat berbeda dimana serat sebagai bahan penguat dan matriks sebagai pengikat serat. Penggabungan komposit dengan serat alam membutuhkan ikatan permukaan yang kuat agar reaksi yang terjadi dapat serasi [5].

2.2. Serat Alam

Serat berfungsi sebagai unsur penguat komposit kepada matriks. Ikatan antarmuka antara matriks dengan serat sangat menentukan kekuatan komposit [6]. Sifat dan kualitas dari serat bergantung pada ukuran, umur serat ataupun proses yang digunakan untuk mengekstraksi serat.

2.4 Serat Daun Sisal

Sisal merupakan tanaman *biodegradable* yang berasal dari alam. Sisal banyak tumbuh di wilayah Indonesia salah satunya di lereng Gunung Agung yang terletak di Desa Dukuh, Karangasem, Bali. Masyarakat Desa Dukuh memanfaatkan sisal untuk dijadikan kerajinan seperti tali, tas, anyaman, rambut rangda, ogoh-ogoh dan lain-lain.

2.2. Metode Ekstraksi Serat

Proses ekstraksi dekortikasi dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu dekortikasi secara manual dan dekortikasi dengan menggunakan mesin. Proses ekstraksi dekortikasi secara manual dilakukan dengan diawali mengambil daun sisal dari kebun. Daun sisal tersebut kemudian dihancurkan dengan cara dipukul dan disikat, sehingga hanya serat yang tersisa, kemudian dibersihkan dan dijemur. Ekstraksi serat menggunakan mesin pertama kali dikembangkan di Afrika Timur untuk memproduksi massal, dimana produksi biasanya dilakukan diperkebunan besar kemudian diangkut ke pabrik dekortikasi pusat, selanjutnya dibersihkan untuk menghilangkan bagian-bagian daun yang tertinggal.

2.3. Resin Polyester

Resin Polyester merupakan salah satu jenis resin cair yang memiliki ketahanan kimia cukup baik dan memiliki pelekatan yang optimal pada berbagai jenis penguat. Adapun sifat mekanis dari matriks polyester yang digunakan yaitu:

Tabel 1. *Unsaturated Polyester Yukalac 157 BQTN*

No	Sifat	Nilai
1	Densitas (ρ)	1,2 g/cm ³
2	Kekuatan Tarik (σ)	12,07 N/mm ²
3	Modulus Elastisitas (E)	1,18 x 10 ³ N/mm ²
4	Poison Ratio (ν)	0,33
5	Kekuatan Fleksural	94 N/mm ²
6	Modulus Fleksural	3.00 x 10 ³ N/mm ³

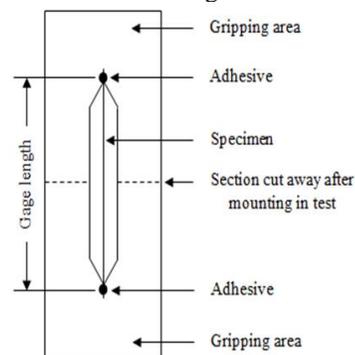
2.5 Metode Pembuatan Komposit

Beberapa metode yang digunakan dalam memproduksi komposit yang telah dikembangkan oleh peneliti dan perusahaan, diantaranya proses cetak tekanan tinggi, proses vakum, proses semprot, proses injeksi, dan proses cetak *hand-lay up*. Cara yang paling sederhana untuk mencetak komposit adalah *hand-lay up*, proses ini tidak memerlukan peralatan khusus untuk memberi tekanan selama tahap pencetakan [7]. Perbandingan ini dapat diwujudkan dalam bentuk fraksi berat (w/w). Fraksi berat dihitung dengan persamaan :

$$Wf = \frac{wf}{wc} \times 100 \quad (1)$$

2.4. Uji Tarik Serat Tunggal

Uji tarik serat tunggal adalah pengujian yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik yang dimiliki oleh serat sesuai dengan ASTM C 1557-03.



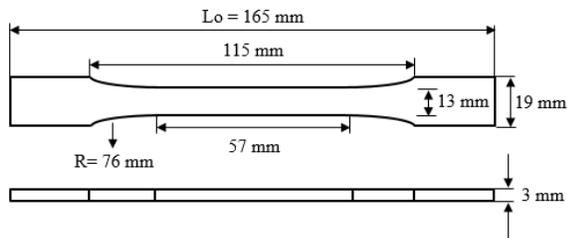
Gambar 1. Spesimen Uji Tarik Serat Tunggal

Berdasarkan Gambar 1 didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A_0}, \quad \epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}, \quad E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \epsilon} \quad (2)$$

2.6 Uji Tarik Komposit

Uji tarik komposit adalah pengujian yang bertujuan untuk memberikan informasi tentang tegangan tarik, regangan dan modulus elastisitas. Spesimen pengujian tarik di bentuk sesuai dengan standar ASTM D368:



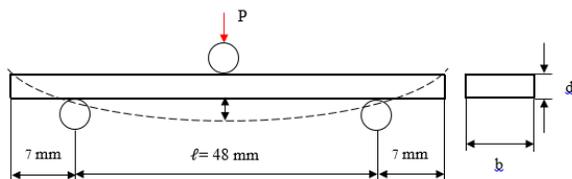
Gambar 2. Spesimen Uji Tarik

Berdasarkan Gambar 2 didapatkan persamaan sebagai berikut:

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

2.7 Uji Lentur Komposit

Uji lentur komposit adalah pengujian yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan lentur dan pembengkokan. Spesimen pengujian lentur di bentuk sesuai dengan standar ASTM D790-03.

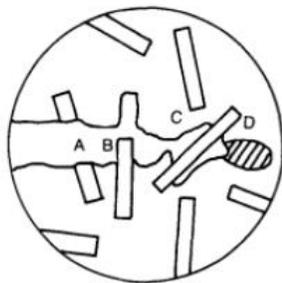


Gambar 3. Spesimen Uji Lentur

Berdasarkan Gambar 3 didapatkan persamaan sebagai berikut:

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

2.8 Pengamatan Permukaan Patah



Gambar 4. Mekanisme Kegagalan Patahan

Setelah melakukan pengujian komposit dilakukan pengamatan kegagalan patahan pada spesimen. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Pada titik A terjadi *Overload* yang disebabkan oleh beban yang di transfer melebihi dari batas kekuatan sehingga

matriks dan serat terputus. Pada titik B terdapat *pullout* yang disebabkan tidak kuatnya ikatan yang dimiliki antara matriks dan serat. Pada titik C terdapat *delamination* dan pada titik D terjadi *matrix flow* yang disebabkan tidak adanya serat yang menyebabkan matriks menumpuk pada satu titik.

3 Metode Penelitian

3.5 Alat

1. Alat Uji Tarik Serat Tunggal
2. Alat Uji Tarik Komposit
3. Alat Uji Lentur Komposit
4. Mikroskop
5. Cetakan Kaca
6. Oven
7. Gunting
8. Timbangan Digital
9. Gelas Ukur

3.6 Bahan

1. Serat Sisal
2. Resin Polyester Yukalac 157 BQTN
3. Katalis
4. Glyserin

3.7 Prosedur Penelitian

Penelitian ini diawali dengan menyiapkan daun sisal yang diambil dari 2 sampai 5 daun paling bawah yang kemudian diekstraksi menggunakan metode dekortikasi dengan cara daun sisal dibelah menjadi 4 bagian, selanjutnya dijepit dengan bambu lalu ditarik secara berulang-ulang hingga kotoran dan zat pengikatnya terpisahkan.

Pengujian tarik serat tunggal diawali melakukan perendaman NaOH pada serat dengan variasi perlakuan 2,5%, 5%, 7,5%. Selanjutnya membuat spesimen uji tarik serat tunggal yang mengacu pada ASTM C 1557-03. Sebelum melakukan pengujian, dilakukan pengambilan foto makro dan mengukur diameter serat dengan menggunakan aplikasi *Future Winjou* dan *ImageJ*. Setelah itu, lakukan pengujian, perhatikan dan catat setiap pertambahan panjang serat pada dial gauge setiap 0,2 mm terhadap pembebanan hingga serat terputus pada tegangan maksimum. Lalu, masukan data pengujian kedalam tabel untuk menghitung nilai tegangan, regangan, dan modulus elastisitas. Hasil kekuatan tarik tertinggi digunakan untuk mencetak komposit

Pembuatan komposit diawali dengan melakukan pemotongan serat sepanjang 3 cm dan membuat cetakan berukuran 25 x 20 x 0,3 cm. Kemudian, oleskan glyserin yang bertujuan agar resin tidak melekat pada cetakan. Selanjutnya membuat campuran resin polyester, katalis dan serat sesuai dengan ukuran. Lalu, melakukan pencetakan komposit dengan variasi fraksi berat serat 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10%.

Tutup cetakan dan diamkan selama 24 jam. Setelah itu, potong spesimen untuk diuji tarik dan lentur.

Pengujian tarik komposit diawali dengan pemasangan spesimen pada alat uji. Selanjutnya, kalibrasi alat uji dan lakukan pengujian tarik komposit. Perhatikan dan catat pertambahan panjang setiap 0,1 mm terhadap beban yang terjadi.

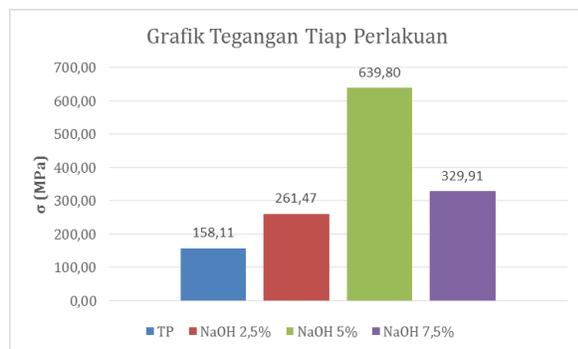
Sementara itu, Pengujian lentur komposit diawali dengan melakukan pengukuran pada spesimen uji untuk menentukan titik tumpuan dan titik tengah spesimen. Kemudian, pasang spesimen pada alat uji dan pastikan alat dikalibrasi terlebih dahulu. Lalu lakukan pengujian lentur dan catat defleksi setiap 0,1 mm terhadap beban yang terjadi.

4 Hasil dan Pembahasan

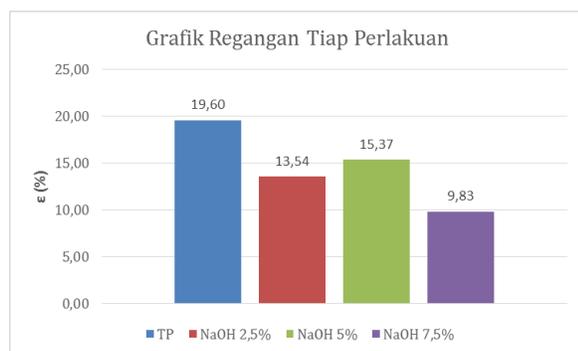
Setelah dilakukan pengujian, maka didapatkan data tabel dan grafik uji tarik serat tunggal, uji tarik komposit dan uji lentur komposit.

4.1. Uji Tarik Serat Tunggal

Hasil uji tarik serat tunggal dapat disajikan pada grafik sebagai berikut:



Gambar 5. Grafik Tegangan Tiap Perlakuan

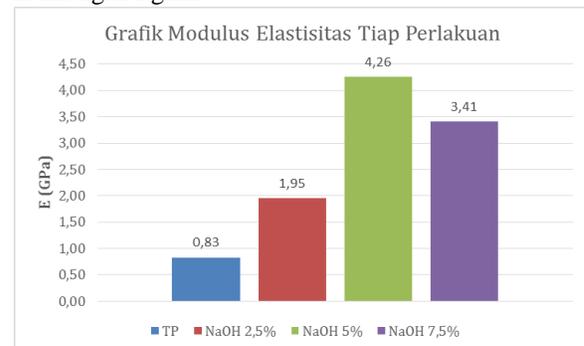


Gambar 6. Grafik Regangan Tiap Perlakuan

Berdasarkan Gambar 5 terlihat bahwa kekuatan tarik serat tunggal tertinggi terdapat pada perlakuan NaOH 5% perendaman 2 jam sebesar 639,80 MPa dan terendah pada serat dengan tanpa perlakuan NaOH sebesar 158,11 MPa. Kekuatan tarik serat dengan perlakuan NaOH 5% perendaman 2 jam lebih besar dikarenakan kotoran dan lignin yang menempel

pada permukaan serat terdegradasi oleh proses alkalisasi yang optimal sehingga menyebabkan penyusutan diameter pada serat. Perlakuan NaOH 2,5% selama 2 jam belum mampu mengurangi kotoran pada serat, sehingga nilai tarik serat belum meningkat signifikan. Tetapi apabila dilakukan perlakuan NaOH 7,5% perendaman 2 jam kekuatan tarik serat kembali menurun. Hal ini terjadi karena kandungan selulosa yang terdapat pada serat hilang, maka kekuatan tarik akan menurun.

Berdasarkan Gambar 6 terlihat jelas bahwa regangan maksimum tanpa perlakuan lebih besar dengan nilai regangan sebesar 19,60%. Sedangkan serat dengan perlakuan NaOH 5% memiliki regangan sebesar 15,37%. Hal ini dikarenakan putusnya permukaan serat yang terjadi di daerah yang kehilangan lignin.



Gambar 7. Grafik Modulus Elastisitas Tiap Perlakuan

Berdasarkan Gambar 7 menunjukkan bahwa modulus elastisitas terendah terdapat pada serat tanpa perlakuan dengan nilai sebesar 0,83 GPa. Sedangkan modulus elastisitas tertinggi terdapat pada serat dengan perlakuan NaOH 5% perendaman 2 jam sebesar 4,26%. Hal ini sesuai dengan teori hukum *hooke* bahwa modulus elastisitas berbanding lurus dengan tegangan dan berbanding terbalik dengan regangan.

4.2. Uji Tarik Komposit

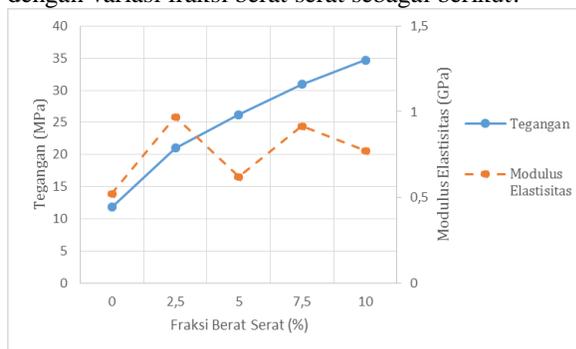
Hasil perhitungan uji tarik komposit dapat disajikan pada tabel sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Perhitungan Tarik Komposit

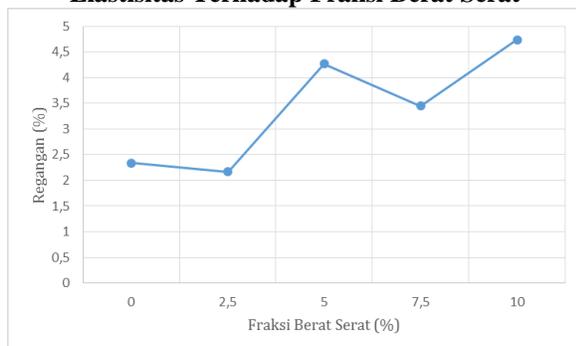
Fraksi Berat Serat 0%			
Spesimen	σ (MPa)	ε (%)	E(GPa)
E1	11.56	2.28	0.51
E2	12.82	2.98	0.43
E3	11.06	1.75	0.63
Rata-rata	11.81	2.34	0.52
Fraksi Berat Serat 2,5%			
Spesimen	σ (MPa)	ε (%)	E(GPa)
F1	23.12	2.28	1.01
F2	22.11	2.11	1.05
F3	17.84	2.11	0.85

Rata-rata	21.02	2.16	0.97
Fraksi Berat Serat 5%			
Spesimen	σ (MPa)	ϵ (%)	E(GPa)
G1	25.63	4.21	0.61
G2	28.14	4.91	0.57
G3	24.88	3.68	0.68
Rata-rata	26.22	4.27	0.62
Fraksi Berat Serat 7,5%			
Spesimen	σ (MPa)	ϵ (%)	E(GPa)
H1	30.91	4.21	0.73
H2	29.90	2.98	1.00
H3	31.91	3.16	1.01
Rata-rata	30.91	3.45	0.92
Fraksi Berat Serat 10%			
Spesimen	σ (MPa)	ϵ (%)	E(GPa)
I1	34.68	4.04	0.86
I2	33.67	6.32	0.53
I3	35.68	3.86	0.92
Rata-rata	34.68	4.74	0.77

Berdasarkan hasil yang disajikan pada Tabel 2, selanjutnya membuat grafik hubungan antara tegangan tarik, regangan tarik dan modulus elastisitas dengan variasi fraksi berat serat sebagai berikut:



Gambar 8. Grafik Tegangan dan Modulus Elastisitas Terhadap Fraksi Berat Serat



Gambar 9. Grafik Tegangan Terhadap Fraksi Berat Serat

Dari Gambar 8 terlihat bahwa tegangan tarik komposit meningkat signifikan. Dimana nilai tegangan tarik terendah ada pada fraksi berat serat 0% dengan nilai tegangan tarik sebesar 11,81 MPa dan modulus elastisitas sebesar 0,52 GPa. Sementara itu, tegangan tarik tertinggi ada pada fraksi berat serat 10% dengan nilai tegangan tarik 34,68 MPa dan

modulus elastisitas sebesar 0,77 GPa. Tegangan tarik komposit meningkat dikarenakan seiring bertambahnya fraksi berat. Sementara itu, pada grafik hubungan fraksi berat serat terhadap modulus elastisitas terjadi peningkatan disebabkan menurunnya nilai regangan tarik komposit.

Dari Gambar 9 terlihat bahwa regangan tarik komposit terjadi penurunan pada fraksi berat serat 2,5% dengan nilai sebesar 2,16%. Hal ini dikarenakan *pullout* yang terjadi sedikit sehingga menyebabkan tegangan yang dihasilkan tinggi sedangkan regangan tarik menjadi rendah. Kemudian pada fraksi berat serat 5% regangan meningkat dengan nilai sebesar 4,27% dikarenakan jumlah *pullout* banyak, sehingga menyebabkan tegangan menjadi rendah, akan tetapi tidak lebih rendah dari 2,5% karena seiring bertambahnya serat. Kemudian pada fraksi berat serat 7,5% regangan menurun sebesar 3,45% dan kembali meningkat pada fraksi berat serat 10% sebesar 4,74%

4.3. Uji Lentur Komposit

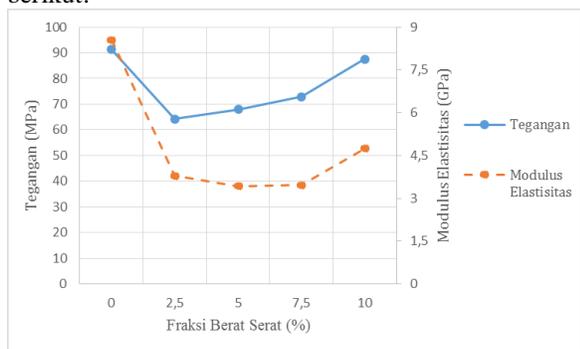
Hasil perhitungan uji lentur komposit dapat disajikan pada tabel dibawah ini:

Tabel 3. Hasil Perhitungan Lentur Komposit

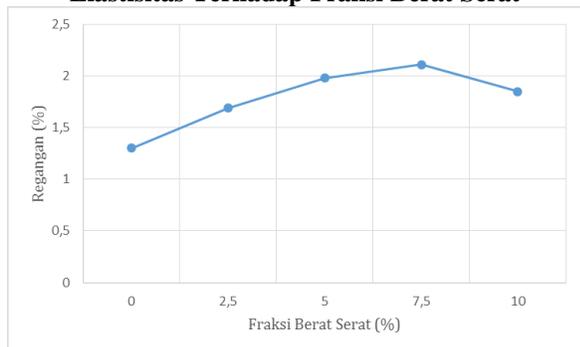
Fraksi Berat Serat 0%			
Spesimen	σ_L (MPa)	ϵ_L (%)	E (GPa)
J1	93.15	0.86	10.840
J2	92.91	0.86	10.811
J3	87.85	2.19	4.016
Rata-rata	91.30	1.30	8.556
Fraksi Berat Serat 2,5%			
Spesimen	σ_L (MPa)	ϵ_L (%)	E (GPa)
K1	75.08	1.88	4.004
K2	58.02	1.64	3.536
K3	59.64	1.56	3.817
Rata-rata	64.25	1.69	3.79
Fraksi Berat Serat 5%			
Spesimen	σ_L (MPa)	ϵ_L (%)	E (GPa)
L1	71.89	2.11	3.408
L2	68.27	1.88	3.641
L3	63.50	1.95	3.251
Rata-rata	67.89	1.98	3.43
Fraksi Berat Serat 7,5%			
Spesimen	σ_L (MPa)	ϵ_L (%)	E (GPa)
M1	70.62	1.95	3.616
M2	73.71	2.11	3.494
M3	74.45	2.27	3.286
Rata-rata	72.93	2.11	3.47
Fraksi Berat Serat 10%			
Spesimen	σ_L (MPa)	ϵ_L (%)	E (GPa)
N1	84.51	1.95	4.327
N2	90.07	1.88	4.804
N3	88.15	1.72	5.129
Rata-rata	87.58	1.85	4.75

Berdasarkan hasil yang disajikan pada Tabel 3, selanjutnya membuat grafik hubungan antara tegangan lentur, regangan lentur dan modulus

elastisitas dengan variasi fraksi berat serat sebagai berikut:



Gambar 10. Grafik Tegangan dan Modulus Elastisitas Terhadap Fraksi Berat Serat



Gambar 11. Grafik Pengaruh Fraksi Berat Serat Terhadap Regangan

Dari Gambar 10 menunjukkan bahwa tegangan lentur tertinggi terdapat pada fraksi berat serat 0% sebesar 91,30 MPa dan modulus elastisitas sebesar 8,556 GPa. Kemudian menurun signifikan pada fraksi berat serat 2,5% sebesar 64,25 MPa dan modulus elastisitas sebesar 3,79 GPa. Hal ini dikarenakan keselarasan antar serat dan void yang terdapat pada spesimen. Selain itu, tegangan lentur menurun disebabkan arah spesimen tegak lurus terhadap beban sehingga beban bertumpu pada serat saja. Pada fraksi berat serat 5% tegangan lentur meningkat hingga 87,58 MPa dan modulus elastisitas sebesar 4,75 GPa pada fraksi berat serat 10%. Hal ini dikarenakan bertambahnya fraksi berat serat yang menyebabkan distribusi dan transfer beban yang dihasilkan meningkat seiring dengan kemampuan serat untuk mentransfer beban secara baik. Akan tetapi, nilai peningkatan tegangan lentur pada fraksi berat serat 10% tidak melampaui dari nilai tegangan lentur 0% dikarenakan komposisi tanpa penguat mampu mendistribusikan beban secara maksimal dan optimal.

Dari Gambar 11 terlihat bahwa regangan dari fraksi berat serat 0% meningkat hingga pada fraksi berat serat 7,5%. Hal ini dikarenakan regangan serat mampu menahan beban dari pada regangan matriks sehingga regangan lentur komposit meningkat. Akan tetapi pada fraksi berat serat 10% terjadi penurunan

sebesar 1,85%. Hal ini disebabkan karena regangan matriks lebih besar dari regangan serat sehingga regangan lentur komposit menurun.

4.4. Pengamatan Makro

Setelah melakukan pengujian komposit, selanjutnya dilakukan pengamatan patahan secara visual pada spesimen uji. Hal ini bertujuan untuk mengidentifikasi penyebab terjadinya kegagalan pada spesimen.

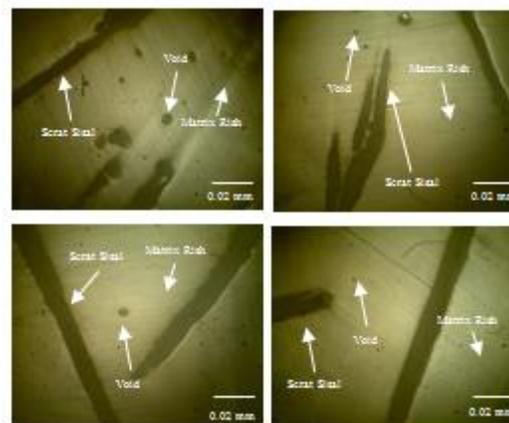


Gambar 12. Hasil Foto Makro Patahan Komposit

Pada Gambar 12 menunjukkan bahwa foto makro patahan didominasi oleh *matrix flow* yang disebabkan kurangnya serat dan tidak terdistribusi secara merata sehingga menyebabkan pergeseran alur pada matriks.

4.4. Pengamatan Foto Mikro

Pengamatan foto mikro dilakukan pada titik daerah matriks, *interface* matriks penguat, dan pada daerah penguat. Setelah permukaan komposit dipoles dengan autosol. Struktur dari komposit dapat memberikan informasi yang mendukung sifat dari komposit.



Gambar 13. Hasil Foto Mikro Komposit

Pada Gambar 13 menunjukkan bahwa masih terdapat beberapa void dan *matrix rish*. Void terjadi

diakibatkan oleh penekanan sewaktu mencetak komposit sehingga terdapat rongga-rongga udara. Sementara itu, *matrix rish* terjadi karena tidak adanya serat di daerah matriks.

5. Kesimpulan

Dari hasil yang didapatkan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Kekuatan tarik serat tunggal sisal yang diekstraksi dengan metode dekortikasi didapatkan hasil tegangan tarik terendah dengan tanpa perlakuan sebesar 158,11 MPa. Sedangkan kekuatan tarik tertinggi terdapat pada perlakuan NaOH 5% perendaman 2 jam dengan nilai tegangan tarik sebesar 639,80 MPa atau terjadi peningkatan sebesar 304,65%.
2. Kekuatan tarik komposit berperkuat serat sisal yang diekstraksi dengan metode dekortikasi didapatkan hasil tegangan tarik tertinggi pada fraksi berat 10% sebesar 34,68 MPa. Sedangkan tegangan tarik terendah ada pada fraksi berat serat 0% sebesar 11,81 MPa atau terjadi peningkatan 198,98%.
3. Kekuatan lentur komposit berperkuat serat sisal yang diekstraksi dengan metode dekortikasi didapatkan hasil tegangan lentur tertinggi pada fraksi berat serat 0% sebesar 91,30 MPa. Sedangkan tegangan lentur terendah terdapat pada fraksi berat serat 2,5% sebesar 64,25 MPa atau terjadi penurunan sebesar 29,62%.

Daftar Pustaka

- [1] Matasina. M., 2014, *Pengaruh Perendaman Terhadap Sifat Mekanik Komposit Polyester Berperkuat Serat Lontar*.
- [2] Joseph. K., 1999, *A Review on Sisal Fiber Reinforced Polymeir Komposite*, Revsta Brasileria de Agricla e Ambental.
- [3] Sathyanarayana. K. G., 1984, *Structurr and Propertes of Some Vegettable Fibres*, Jornal of Material Sciience.
- [4] Sriikanta R., 2008, *Efect of Ageeing of Siisal Fibres on Propertes of Siisal-Polypropilene Komposite*.
- [5] Wanbua P., Ivens J., 2005, *Natural Fibre: an they repllace glas in fibres reiinforced plastiic?*, Compositte Scence and Tech.nology, Vol. 63.
- [6] Muhamad dan Reza P., 2014, *Uji Mekanik Komposit Serat Panda Duri dan Resin Polyester Dengan Variasi Komposisii Metode Fraksi Berat*, Jurnal Teknologi Kimia Unimal.

- [7] Surrata I W., Lokanntara I P., Ade P., 2016, *Sifat Studi Mekanis Komposit Epoxy Berperkuat Serat Sisal Orientasi Acak yang dicetak Dengan Teknik Hand Lay-up*, Jurnal Energi dan Manufaktur.



I Made Mandala Putra Utama
Menyelesaikan pendidikan S1 di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bali. Dari tahun 2017 hingga 2021 dengan skripsi berjudul “Karakteristik Mekanik Komposit Polyester Berperkuat Serat Sisal yang Diekstrak Dengan Metode Dekortikasi”.

Bidang penelitian yang diminati topik yang berhubungan dengan teknik mesin, rekayasa manufaktur, dan material.

Pemanfaatan Perpindahan Panas Alami Sebagai Energi Penggerak Kincir Angin Tipe Horizontal Di Sekitar Alat Pengering

Angelica Ronauli Sihombing, I.G.B. Wijaya Kusuma, N. Suarnadwipa
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Pemanfaatan energi matahari yang lebih tradisional dan ekonomis adalah pada proses pengeringan. Teknik ini menggunakan metode perpindahan panas natural. Proses ini bermanfaat pada bidang pertanian, selain itu pada proses ini akan juga dapat dimanfaatkan pada kincir. Maka dari itu, tugas akhir ini akan membahas pemanfaatan energi panas matahari pada alat pengering sebagai energi penggerak kincir angin dengan menggunakan konveksi alami. Berdasarkan hal tersebut dilakukan penelitian proses perpindahan panas hingga menghasilkan kecepatan pada ruang pengering menggunakan aplikasi CFD (Computational Fluid Dynamic). Setelah mendapat hasil kemudian dilakukan pembuktian apakah tiga tipe airfoil dapat bergerak dengan menggunakan aplikasi Aerofoil. Simulasi Computational Fluid Dynamic pada ruang pengering divariasikan menjadi tiga kondisi yaitu panas, mendung dan berhujan dengan temperatur 40°C, 36°C, 26°C dan intensitas 987,64 watt/m², 756,50 watt/m², dan 390,90 watt/m² menghasilkan kecepatan yang yaitu 2.16562 m/s, 1.72046 m/s, 1.1745 m/s. Kemudian dilakukan pengujian 3 tipe airfoil yaitu NACA 4418, NACA 0012, NACA 2410 menggunakan aplikasi Aerofoil pada kecepatan 1,1 m/s dan Panjang chord 0,302 m dihasilkan koefisien lift 0,441, 0,419, 0,410 dan koefisien drag 0,00303, 0,0271, 0,00215 dimana ketiga hasil tersebut memiliki koefisien lift lebih tinggi dari koefisien drag sehingga membuktikan kincir dapat bergerak.

Kata Kunci : Konveksi alami, CFD, aerofoil, airfoil, kincir angin horizontal

Abstract

The use of solar energy that is more traditional and economical is in the drying process. This technique uses a natural heat transfer method. This process is useful in the agricultural sector, besides that this process can also be used for windmills. Therefore, this final project will discuss the utilization of solar thermal energy in drying equipment as energy to drive windmills using natural convection. Based on this, a research was carried out on the heat transfer process to produce speed in the drying chamber using the CFD (Computational Fluid Dynamic) application. After getting the results, it was done proving whether the three types of airfoil could move by using the Aerofoil application. The computational fluid dynamic simulation in the drying room is varied into three conditions, namely hot, cloudy and rainy with temperatures of 40°C, 36°C, 26°C and an intensity of 987.64 watts / m², 756.50 watts / m², and 390.90 watts / m². i.e. 2.16562 m / s, 1.72046 m / s, 1.1745 m / s. Then tested 3 types of airfoils, namely NACA 4418, NACA 0012, NACA 2410 using the Aerofoil application at a speed of 1.1 m / s and a chord length of 0.302 m resulting in a lift coefficient of 0.441, 0.419, 0.410 and a drag coefficient of 0.00303, 0.0271, 0.00215 where the three results have a higher lift coefficient than the drag coefficient, thus proving the wheel can move.

Keywords: Natural convection, CFD, aerofoil, airfoil, horizontal-axis wind turbine

1. Pendahuluan

Secara geografis, Indonesia adalah negara yang terletak di garis khatulistiwa sehingga memiliki potensi angin relatif kecil dan berubah-ubah. Dengan keadaan angin yang relatif kecil dan berubah-ubah, akan mempengaruhi kecepatan putaran kincir angin. Perubahan kecepatan angin mempengaruhi ketahanan dari sebuah kincir [1]. Hal ini menyebabkan pemanfaatan angin sebagai penggerak kincir masih belum efektif.

Letak geografis menjadi keuntungan bagi Indonesia dalam hal lama penyiaran matahari.

Energi matahari merupakan salah satu energi energi terbarukan yang mampu menjadi solusi pengganti energi fosil.

Energi matahari sudah dimanfaatkan untuk proses pengeringan dan sebagai pembangkit listrik. Proses pengeringan merupakan salah satu pemanfaatan energi matahari yang lebih tradisional dan ekonomis. Teknik ini menggunakan metode perpindahan panas natural. Proses perpindahan panas ini dapat kecepatan yang dapat bermanfaat salah satunya pada kincir. Maka dari itu, akan dilakukan pembahasan mengenai pemanfaatan energi

panas matahari pada alat pengering sebagai energi penggerak kincir angin dengan menggunakan konveksi alami.

2. Dasar Teori

2.1 Natural Convection

Konveksi alamiah (*natural convection*) adalah proses pemanasan fluida sehingga fluida tersebut berubah densitasnya yang mengakibatkan fluida tersebut dapat bergerak. Gerakan fluida ini terjadi karena adanya gaya apung (efek *buoyancy*) yang dialami apabila densitas fluida di dekat permukaan kalor berkurang akibat proses pemanasan [2].

Karakteristik konveksi alami dapat dinyatakan dengan bilangan Rayleigh, bilangan Nusselt dan bilangan Grashof (Gr). Bilangan Gr didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya apung dengan viskositas di dalam sistem konveksi alami [3].

$$Gr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu^2} \quad (1)$$

$$Re = \frac{\rho VL}{\mu} \quad (2)$$

Kecepatan fluida yang dihasilkan sendiri dapat dicari dari hubungan bilangan Nusselt dengan bilangan Reynold dan Prandtl.

$$Nu = C \cdot Re^m \cdot Pr^n \quad (3)$$

$$Nu = C \cdot \left[\frac{\rho V L}{\mu}\right]^m \cdot Pr^n \quad (4)$$

$$V = \sqrt[m]{\frac{Nu}{C \times Pr^n}} \times \frac{\mu}{\rho L} \quad (5)$$

Dimana :

Nu = Nusselt number

C = Konstanta

μ = Viskositas dinamis (m^2/s)

Re = Bilangan Reynold

g = gravitasi, m/s^2

β = koefisien ekspansi volume, $1/K$

L = panjang permukaan plat, m

ν = viskositas kinematika fluida, m^2/s

ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)

V = kecepatan fluida (m/s)

L = Panjang plat (m)

2.2 Kincir Angin

Kincir angin sumbu horizontal adalah jenis kincir angin propeller dengan poros horizontal seperti baling-baling pada pesawat pada umumnya. Kincir angin ini memiliki poros utama yang sejajar dengan tanah dan arah poros utama sesuai dengan arah datangnya angin. Berdasarkan prinsipnya, kerja kincir angin tipe HAWT berdasarkan pada gaya angkat (*lift force*) energi angin [4].

Airfoil adalah bentuk suatu penampang yang dapat menghasilkan efek aerodinamika ketika dilewati fluida. Airfoil sendiri digunakan sebagai bilah/sudu pada kincir angin [4]. NACA adalah bentuk *airfoil* yang dikembangkan oleh *National Committee for Aeronautics*. Pengembangan yang dilakukan NACA adalah dengan membagi pengaruh efek kelengkungan, ketebalan dan pengujian dilakukan terhadap bilangan Reynold. Ada 6 jenis NACA yang umum digunakan saat ini yaitu NACA seri 4 digit, NACA seri 5 digit, NACA seri-1 (seri 16), NACA seri 6, NACA seri 7, dan NACA seri 8.

- *Airfoil* NACA 2412, memiliki nilai maksimum *chamber* 2%, terletak pada posisi 0,4c dari keliling *edge* dan memiliki ketebalan maksimum 12% dari *chord*.
- *Airfoil* NACA 4418, memiliki nilai maksimum *chamber* 4%, terletak pada posisi 0,4c dari keliling *edge* dan memiliki ketebalan maksimum 18% dari *chrd*
- *Airfoil* NACA 0012 memiliki 0 nilai maksimum, tidak memiliki nilai posisi dari keliling *edge* dan memiliki ketebalan maksimum 12 % dari *chord*.

Gaya drag dan lift dapat diketahui dengan rumus:

$$F_l = \frac{1}{2} \rho V_0^2 A r_c C_L \quad (6)$$

$$F_D = \frac{1}{2} \rho V_0^2 A r_c C_D \quad (7)$$

Dimana :

C_D = Koefisien drag

C_L = Koefisien lift

ρ = Massa jenis udara (kg/m^3)

A = Luas penampang (m^2)

r_c = Panjang airfoil atau chord (m)

v_0 = kecepatan udara m/s

F_D = Gaya drag (N)

F_L = Gaya lift(N)

\dot{m} = Laju Aliran Massa(kg/s)

P_T = Daya dorong

2.3 Computational Fluid Dynamics

Computational Fluid Dynamics (CFD) adalah perangkat lunak yang digunakan untuk menganalisa aliran fluida, perpindah panas seperti reaksi kimia dengan menggunakan simulasi berbasis komputer. Simulasi pada perangkat lunak ini menghasilkan solusi numerik dan dapat mengatur persamaan-persamaan hukum Newton [5].

Terdapat tiga tahapan dalam penggunaan CFD: *Pre-processo*, *Solver*, dan *Post-processor*. Pre-processor adalah tahapan yang paling awal dalam merancang dan menganalisa menggunakan CFD. Pada tahap ini dilakukan pendefinisian masalah dengan menggunakan bentuk geometri. *Solver*, proses ini merupakan proses pemecahan masalah pada CFD secara matematis melalui analisis numerik. *Post-processor*, proses ini adalah tahapan terakhir pada CFD. pada tahap ini ditampilkan seluruh hasil yang sudah dilakukan pada tahapan sebelumnya.

2.4. Aplikasi Aerofoil

Aplikasi Aerofoil adaah aplikasi yang digunakan untuk mendesign aerofoil. Input dari aplikasi ini adalah kecepatan udara dan yang menjadi *output* nya adalah koefisien gaya *lift* (Cl) dan koefisien gaya *drag* (Cd). Berikut adalah tampilan dari aplikasi *aerofoil*.

3. Metode Perancangan

3.1. Simulasi

Penelitian pada ruang pengering menggunakan aplikasi Autodesk CFD dan penelitian dilanjutkan dengan aplikasi *Aerofoil* untuk melihat koefisien drag dan lift kincir.

3.2. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian pada adalah sebagai berikut:

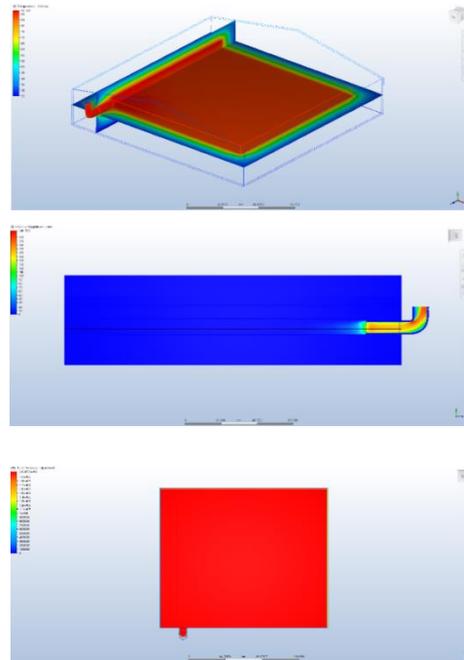
1. Pengukuran temperatur dan intensitas matahari.
2. Pembuatan desain ruang pengering.
3. Simulasi menggunakan aplikasi Autodesk CFD
4. Analisa hasil ruang pengering berupa temperatur, kecepatan, tekanan
5. Pembuatan tiga tipe *airfoil* menggunakan aplikasi Aerofoil.
6. *Input* data
7. Hasil

4. Hasil dan Pembahasan

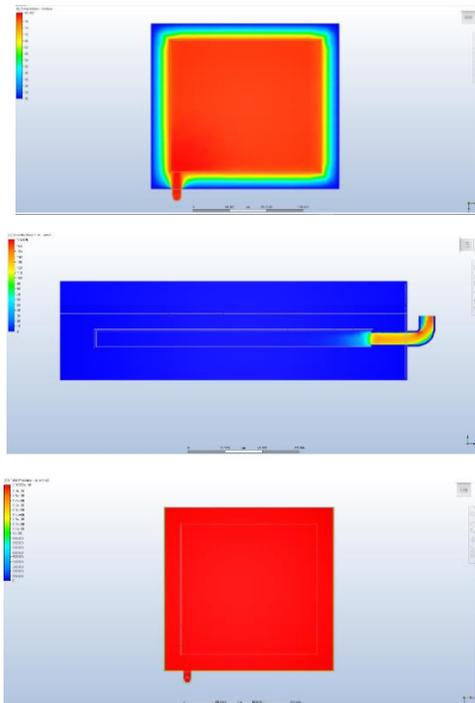
Hasil penelitian yang telah dilakukan secara simulasi pada dua aplikasi di dapat hasil sebagai berikut.

4.1. Hasil dan Pembahasan Simulasi Menggunakan CFD

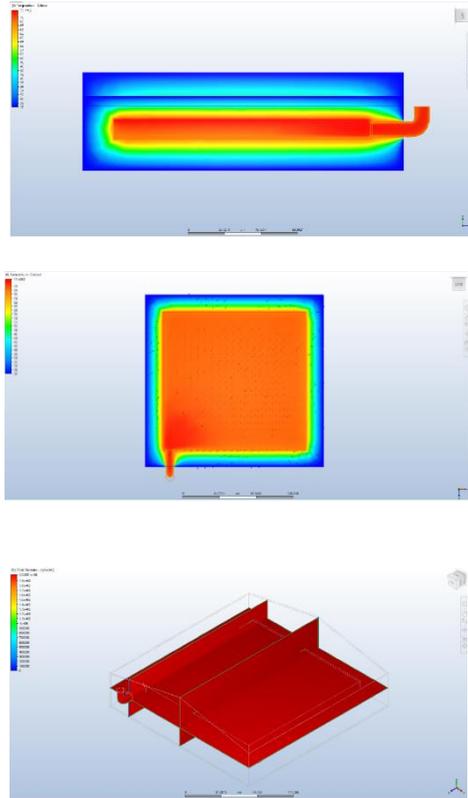
Data temperatur dan intensitas di bagi menjadi tiga kondisi yaitu panas, mendung, dan berhujan.



Gambar 1. Visualisasi Nilai Temperatur, Kecepatan dan Tekanan Kondisi Panas



Gambar 2 Visualisasi Nilai Temperatur, Kecepatan dan Tekanan Kondisi Mendung



Gambar 3 Visualisasi Nilai Temperatur, Kecepatan dan Tekanan Kondisi Mendung

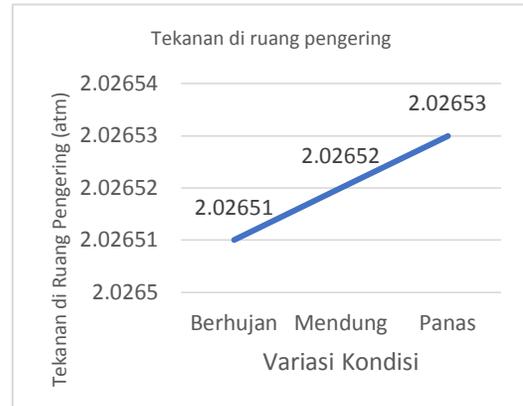
Hasil simulasi ruang pengering dengan input temperatur lingkungan dan intensitas matahari ditunjukkan pada table berikut ini

	Panas	Mendung	Hujan
Temperatur Lingkungan (°C)	40	36	26
Intensitas	987.64	756.5	390.9
Temperatur Ruang pengering (°C)	90.357	83.357	73.4662
Kecepatan keluar pengering (m/s)	2.16562	1.72046	1.1745
Tekanan di ruang pengering (atm)	2.02653	2.02652	2.02651

Dari percobaan dengan menggunakan simulasi dapat dibuktikan bahawa proses perpindahan panas dapat menghasilkan aliran kecepatan. Nilai kecepatan yang dihasilkan berbeda-beda pada setiap kondisi. Dimana kondisi yang divariasikan terdiri dari temperatur dan intensitas yang berbeda.

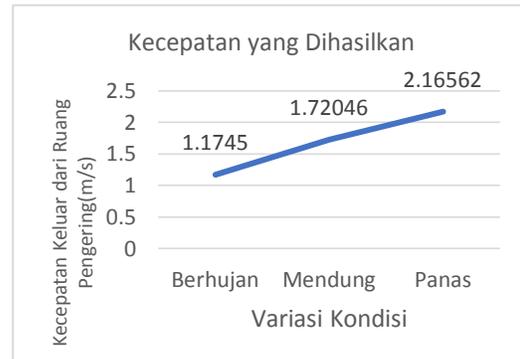
Dari data di atas dapat diketahui nilai kecepatan tertinggi ada pada kondisi panas dan aliran kecepatan terendah terjadi pada kondisi berhujan. Kadaan tersebut juga sejalan dengan hasil simlasi dpada tempertur di dalam ruang

pengering, dan tekanan di dalam ruang pengering.

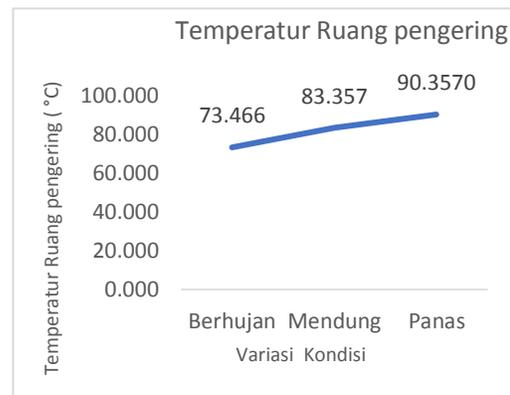


Gambar 4 Grafik Hasil Simulasi Tekanan

Dari grafik dapat diketahui bahwa semakin tinggi temperatur dan intensitas matahari tekanan juga akan semakin besar. Namun peningkatan nilai tekanan signifikan.



Gambar 5 Grafik Hasil Simulasi Kecepatan



Gambar 6 Grafik Hasil Simulasi Temperatur

Dari gambar 5 dapat diketahui bahwa semakin tinggi intensitas matahari dan temperatur lingkungan maka kecepatan yang dihasilkan semakin tinggi.

Dari gambar 6 dapat diketahui bahwa semakin tinggi temperatur lingkungan semakin tinggi pula temperatur ruang pengering. Begitu pula dengan intensitas matahari, semakin tinggi nilai intensitas matahari maka temperatur pada ruang pengering juga semakin tinggi.

4.2 Analisa Perpindahan Panas Secara

Teoritis

Setelah dilakukan simulasi, maka akan di dapat kecepatan hasil simulasi. Perhitungan secara manual dapat dilakukan sebagai penguat hasil simulasi dimana pada hasil simulasi terbukti terdapat aliran fluida yang terjadi. Dengan formulasi dan nilai parameter perhitungan dapat diperoleh dari referensi, maka perhitungannya sebagai berikut:

- Menentukan bilangan Grashoff

$$Gr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu^2} \quad (8)$$

$$Gr = 1,89 \times 10^9$$

- Menentukan bilangan Rarleigh

$$Ra = Gr \cdot Pr \quad (9)$$

$$Ra = 1,89 \times 10^9 \times 0.7$$

$$Ra = 1,320 \times 10^9$$

Setelah mendapatkan nilai Ra maka diketahui jenis aliran yang terjadi. Dari nilai tersebut dapat dikategorikan bahwa aliran adalah aliran turbulen dengan kondisi *free convection*.

- Mencari nilai kecepatan dengan bilangan Nusselt

$$Nu = C \cdot Re^m \cdot Pr^n \quad (10)$$

$$C \times Ra^{1/3} = C \cdot Re^m \cdot Pr^n$$

$$(1,320 \times 10^9)^{1/3} = Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4}$$

$$1096,81 = Re^{0,8} \cdot (0.7)^{0,4}$$

$$Re = \frac{\rho VL}{\mu}$$

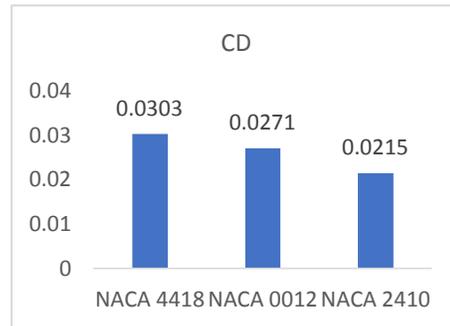
$$\left(\frac{1096,81}{0,8670}\right)^{1/0,8} = \left(\frac{1,125 \text{ kg/m}^3 \cdot v \cdot 0,1 \text{ m}}{195,33 \text{ kg/m.s}}\right)$$

$$v = 1,356 \text{ m/s}$$

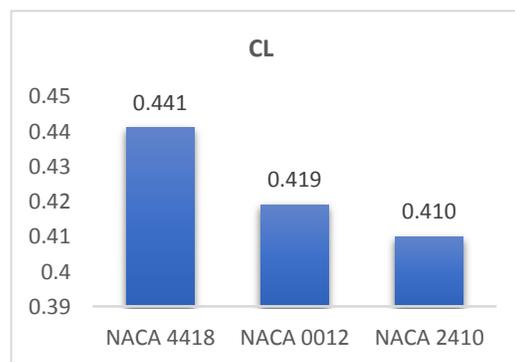
Kecepatan aliran fluida pada pipa yang terjadi karena adanya konveksi alami di ruang pengering secara teoritis adalah 1,356 m/s. Hasil tersebut membuktikan bahwa memang benar ada aliran udara yang muncul akibat adanya perpindahan panas secara natural di dalam ruang pengering.

4.3. Hasil dan Pembahasan Simulasi Airfoil

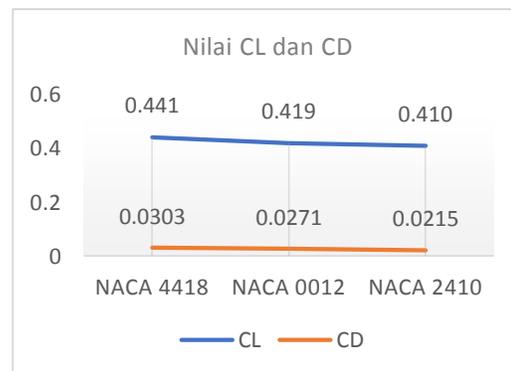
Penelitian terhadap tiga tipe Airfoil NACA yaitu NACA 4418, NACA 2410 dan NACA 0012 pada aplikasi Aerofoil akan menghasilkan nilai koefisien *lift* dan *drag*. Hasil simulasi akan di tampilkan dalam bentuk grafik untuk mempermudah Analisa.



Gambar 7 Grafik koefisien drag hasil simulasi



Gambar 8 Grafik koefisien lift hasil simulasi

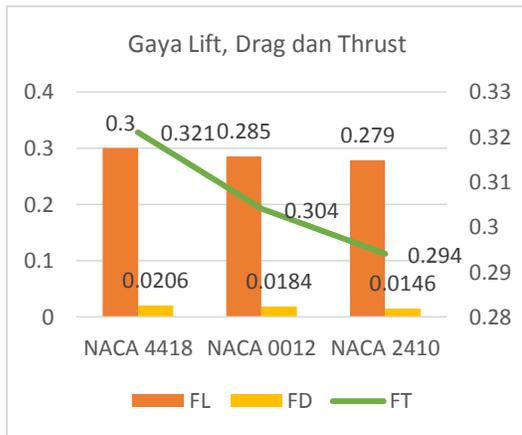


Gambar 9 Grafik besar koefisien drag dan koefisien lift hasil simulasi

Dari gambar 8 dapat diketahui bahwa dengan dengan kecepatan udara 1,1 m/s dan panjang chord 0,302 m nilai tertinggi koefisien lift dari tiga tipe *airfoil* yang diuji adalah tipe NACA 4418 yaitu 0,441. Sedangkan terendah adalah tipe NACA 2410. Nilai tertinggi koefisien *drag* dari tiga tipe *airfoil* yang diuji adalah tipe NACA 4418 yaitu 0,441. Sedangkan terendah adalah tipe NACA 2410 dengan nilai koefisien *drag* 0,0215.

Nilai koefisien hasil simulasi dapat dijadikan acuan untuk mengetahui apakah kincir dapat bergerak atau tidak. Pasa hasil simulasi pada 3 tipe NACA menunjukkan bahwa nilai dari koefisien lift lebih besar daripada nilai koefisien *drag* maka hal ini juga akan sejalan dengan gaya yang dihasilkan oleh setiap NACA. Hal ini akan dibuktikan dengan persamaan rumus gaya lift dan drag:

Dari rumus dapat diketahui bahwa nilai koefisien lift dan drag berbanding lurus dengan besar gaya lift dan gaya drag. Pada setiap NACA yang atur memiliki nilai kecepatan, massa jenis, Panjang *chord* yang sama maka yang dijadikan penentu nilai adalah koefisien drag dan liftnya. Ini jugalah yang membuktikan bahwa pada semua *airfoil* yang di uji nilai gaya lift akan lebih besar dari gaya drag. Pada kincir angin horizontal, ketika gaya lift lebih besar dari gaya drag maka kincir tersebut akan berputar.



Gambar 10 Grafik besar gaya lift, gaya drag, gaya thrust pada setiap NACA

Pemilihan kincir terbaik di dasarkan pada besarnya gaya dorong yang dapat diketahui dengan rumus $F_r = \sqrt{F_L^2 + F_D^2}$.

Untuk mengetahui besar gaya-gaya di asumsikan besar luas penampang adalah 1 m^2

($A = 1 \text{ m}^2$) sehingga di dapat hasil seperti yang di tunjukkan pada grafik berikut.

Dari Gambar 10 nilai gaya lift pada ketiga jenis NACA lebih tinggi dari gaya drag maka dari itu ketiga jenis NACA dapat di pakai pada sebagai *airfoil* pada kincir. Namun dari ketiga jenis NACA, nilai gaya dorong (Ft) NACA 4418 adalah yang tertinggi sehingga jenis *airfoil* yang paling baik digunakan di antara ketiga tipe NACA adalah NACA 4418.

5. Kesimpulan

1. Simulasi *Computational Fluid Dynamic* dilakukan pada tiga kondisi lingkungan yaitu panas, mendung dan berhujan. Temperatur kondisi panas 40°C , kondisi mendung 36°C dan kondisi berhujan 26°C . Hasil simulasi menunjukkan temperatur pada ruang pengering meningkat $90,357^\circ\text{C}$ pada kondisi panas, $83,357^\circ\text{C}$ di kondisi mendung, dan $73,4662^\circ\text{C}$ pada kondisi berhujan. Besar kecepatan yang dihasilkan pada kondisi lingkungan panas adalah $2,16562 \text{ m/s}$, kondisi lingkungan mendung $1,72046 \text{ m/s}$ dan berhujan $1,1745 \text{ m/s}$. Besar tekanan di dalam ruang pengering pada kondisi panas $2,02653 \text{ atm}$, kondisi mendung $2,02652 \text{ atm}$, dan berhujan $2,02651 \text{ atm}$. Nilai tekanan menunjukkan bahwa besar tekanan pada ruang pengering lebih besar dari tekanan atmosfer sehingga kecepatan udara dapat mengalir dari ruang pengering menuju lingkungan.
2. Dengan menggunakan kecepatan minimum yang dihasilkan oleh ruang pengering dan Panjang chord $0,3 \text{ m}$ tipe *airfoil* yang paling baik adalah NACA 4418 dengan besar C_L $0,441$ dan C_D $0,0303$.

Daftar Pustaka

- [1] Muhammad Iqbal, 2018, *Pembuatan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Berkapasitas 100 Watt*, Tugas Akhir, Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- [2] Holman, J.P, 1984, *Perpindahan Kalor*, Edisi 5, Erlangga, Jakarta.

- [3] Incropera, Frank P., Dewwit, David P., Bergman, Theodore L., Lavine, Adrienne S., *Fundamental of Heat and Mass Transfer*, Edisi 6, Jhon Wiley & Sons, USA.
- [4] Manwell J.F., McGowan J.G., Rogers A.L., *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application*, John Wiley & Sons.
- [5] Versteeg, 1995, *An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Fenite Volume Method*. New York.
- [6] Saputra, Maidi, *Kajian Literatur Sudu Turbin Angin Untuk Skala Kecepatan Angin Rendah*, Jurnal Mekanova, Vol.2, No. 1, hal.74-83

	<p>Angelica Ronauli Sihombing menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana, pada tahun 2021 dengan mengambil program studi Teknik Mesin pada tahun 2017.</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan perpindahan panas, tubin, kincir dan aerodinamika.</p>	