

ISSN 2302 – 5182



# **TEKNIK DESAIN MEKANIKA**

Jurnal Ilmiah Teknik Mesin

Volume 10 • Nomor 3 • JULI • 2021 • Hal. 1413-1550

**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 3

Hal. 1413-1550

Badung, Juli 2021

ISSN 2302-5182

**TEKNIK DESAIN MEKANIKA**  
Jurnal Ilmiah Teknik Mesin



**Volume 10, Nomor 3, Juli 2021, Hal. 1413 – 1550**

**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](mailto:jitm_tdm@me.unud.ac.id); [t\\_desain\\_mekanika@yahoo.co.id](mailto:t_desain_mekanika@yahoo.co.id)

Info JITM-TDM: [www.mesin.unud.ac.id](http://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 3 Juli 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 3 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 3 • Juli 2021 • Hal. 1413 – 1550

### Daftar Isi

<b>Rancang Bangun Pengaruh Variasi Penambahan Aluminium Pada Paduan Tembaga Terhadap Konduktivitas Termal Bahan</b> I Putu Rian Eka Putra, I Made Astika, I Gusti Ketut Sukadana	1413- 1416
<b>Rancang Bangun Pengaruh Variasi Penambahan Tembaga Pada Paduan Aluminium Terhadap Konduktivitas Termal Bahan</b> I Gusti Ngurah Arya Wijaya Putra, I Made Astika, I Gusti Ketut Sukadana	1417 - 1420
<b>Pengaruh Variasi Penambahan Magnesium Pada Paduan Aluminium Terhadap Konduktivitas Termal Bahan</b> I Gusti Ngurah Agung Angga Wira Putra, I Made Astika, I Gusti Ketut Sukadana	1421 – 1424
<b>Audit Energi Listrik Dan Analisa Peluang Penghematan Konsumsi Energi Listrik di Hotel Gatsu Indah Denpasar</b> Gusti Ngurah Made Galang B. P., I.G.B. Wijaya Kusuma, I.G.N. Putu Tenaya	1425 – 1431
<b>Kekuatan Lentur Dan Serapan Air Komposit Polyester Berpenguat Serat Bambu Tabah</b> Gde Made Erbin Nurhaidi, Tjokorda Gde Tirta Nindhia, I Wayan Surata	1432- 1438
<b>Laju Aliran Massa Fluida Pada Karbon Aktif Bambu Betung Dengan Variasi Temperatur Karbonisasi 400, 500, 600, 700, 800 Dan Temperatur Aktivasi 600°C</b>	1439- 1445
<b>Studi Eksperimental Laju Perpindahan Panas dan Laju Aliran Massa Fluida Pada Karbon Aktif Bambu Betung Dengan Temperatur 600°C Holding Time 60 Menit</b> Manatap H.Ady Siregar, Hendra Wijaksana, dan I Gede Teddy Prananda Surya	1446 – 1451
<b>Karakteristik Bahan Bakar Biodiesel Minyak Jelantah Dengan Metode <i>Partial Hydrogenation</i></b> Magfihza Anugrah Raviery, I Ketut Gede Wirawan, Ainul Ghurri	1452 – 1455
<b>Laju Perpindahan Panas Pada Karbon bambu Betung Dengan Variasi Temperatur Karbonisasi 500°C, 600°C, 700°C, dan 800°C</b> Alex Wardana, Hendra Wijaksana, dan I Ketut Astawa	1456 - 1461
<b>Pembuatan Biogas Dari Kotoran Gajah</b> I Ketut Anggoro Putra, I.G.B. Wijaya Kusuma, I.W. Bandem Adnyana	1462 – 1468
<b>Karakteristik Mekanik Komposit Poliester Berpenguat Serat Sisal Yang Diekstrak Dengan Metode Dekortikasi Dicitak Teknik <i>Vacuum</i></b> Komang Ghosagotama Aryayustama, Tjokorda Gde Tirta Nindhia, I Wayan Surata	1469 - 1475
<b>Karakteristik Mekanik Komposit Poliester Berpenguat Serat Sisal Yang Diekstraksi Dengan Metode <i>Water Retting</i> Di Cetak Teknik <i>Vacuum</i></b> Rafi Purwadi, I Wayan Surata, Tjokorda Gde Tirta Nindhia	1476 - 1481

<b>Analisis Efektivitas <i>Oil Cooler Generator Thrust Bearing</i> Pada Unit 2 di PLTM Parmonangan</b> Steven Owen Yosua Siagian, I N. Suprpta Winaya, I G.N. Putu Tenaya	1482 - 1486
<b>Studi Eksperimental Karakteristik Laju Pemompaan Kapiler Pada Material Karbon Bambu Betung</b> Gusti Maulana Pangestu, Ainul Ghurri dan Hendra Wijaksana	1487 - 1492
<b>Studi Eksperimental Karakteristik Tekanan Kapilaritas Material Karbon Bambu Betung sebagai Material Pad Sistem <i>Direct Evaporative Cooling</i></b> Naufal Refadi Putra, Wayan Nata Septiadi, Hendra Wijaksana	1493 - 1496
<b>Perancangan Alat Pembuat Pellet Karbon Aktif dengan Kapasitas Gaya 2 Ton</b> Paul H. G.R.A.L., I M. Widiyarta dan D.N.K. Putra Negara	1497 - 1501
<b>Studi Eksperimental Laju Perpindahan Panas Pada Aktivasi Karbon Bambu Betung Dengan Temperatur Aktivasi 600° C</b> Juan Axel Maruli Sembiring, Hendra Wijaksana, I Gede Teddy Prananda Surya	1502 - 1508
<b>Tingkat Keausan <i>Cylinder Liner</i> Akibat Beban Gesek Pada Variasi Suhu Permukaan Basah 30° C - 250°C</b> Eko Febriyanto Baryudha, I Made Widiyarta dan I Made Parwata	1509 - 1511
<b>Performansi Sistem Solid Dry Pad Dengan Media Pendingin 75% Massa Dry Ice</b> Dwi Wahyu Krisna Yoga, Hendra Wijaksana, Suarnadwipa	1512 - 1517
<b>Rancang Bangun Sistem Elektroplating Otomatis Berbasis Teknologi Android</b> I Kadek Ricky Adriyasa, I G.N. Nitya Santhiarsa, I G.B. Wijaya Kusuma	1518 - 1523
<b>Analisis Pengukuran Kualitas Hasil Pengecoran Bilah Gangsa Gamelan Dengan Metode Six Sigma</b> Briyan Marcelo, I Gusti Ngurah Priambadi, A.A.A.I.S. Komala Dewi	1524- 1530
<b>Studi Eksperimental Karakteristik Dan Regenerasi Kalsium Klorida Sebagai Material Pada Pengkondisian Udara Adsorpsi</b> Cut Tasya Yuhna, Made Sucipta, D N K Putra Negara	1532 – 1535
<b>Pengaruh Putaran Mesin Terhadap Produksi Bio-Oil Bungkil Kemiri Sunan Menggunakan Reaktor Rotary Pirolisis</b> Yosua William Luhulima, I N. Suprpta Winaya, dan I G.N.P. Tenaya	1536- 1541
<b>Pengaruh Temperatur Terhadap Produksi Bio-oil Bungkil Kemiri Sunan Menggunakan Reaktor Pirolisis Rotary Bed</b> I Nyoman Jaya Prakarsa Wiraharja, I N. Suprpta Winaya, I G.N.P. Tenaya	1542 – 1545
<b>Pengaruh Variasi Fraksi Massa Terhadap Kekuatan Bending Dan Morfologi Biokomposit Serat Bambu Tali Dengan Matriks Resin <i>Epoxy</i></b> Joshua M. T., C I P Kusuma Kencanawati dan I W Bandem Adnyana	1546-1550

# Rancang Bangun Pengaruh Variasi Penambahan Aluminium Pada Paduan Tembaga Terhadap Konduktivitas Termal Bahan

I Putu Rian Eka Putra, I Made Astika, I Gusti Ketut Sukadana  
*Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali*

---

## Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi penambahan aluminium pada paduan tembaga terhadap konduktivitas termal. Analisis dalam penelitian ini menggunakan variabel bebas yaitu variasi penambahan aluminium sebesar 10%, 20% dan 30% pada paduan tembaga. Sedangkan, variabel terikatnya adalah konduktivitas termal. Pengujian konduktivitas termal menggunakan alat uji Heat Transfer Experiment Base Unit merk TQ. Dimensi spesimen uji yaitu diameter 30 mm dan tebal 20 mm. Hasil dari penelitian ini adalah konduktivitas termal memiliki kecenderungan menurun seiring dengan penambahan aluminium pada paduan tembaga.

*Kata kunci: Paduan tembaga, aluminium, konduktivitas termal*

## Abstract

This study aims to analyze the effect of variations in the addition of aluminum to copper alloys on thermal conductivity. The analysis in this study used independent variables, namely variations in the addition of aluminum by 10%, 20% and 30% in copper alloys. Meanwhile, the dependent variable is thermal conductivity. The thermal conductivity test uses the TQ Heat Transfer Experiment Base Unit tester. The dimensions of the test specimens were 30 mm in diameter and 20 mm thick. The result of this research is that the thermal conductivity tends to decrease with the addition of aluminum to the copper alloy.

*Keywords: Copper alloy, aluminum, thermal conductivity*

---

## 1. Pendahuluan

Konduktivitas termal bahan merupakan suatu besaran yang menunjukkan kemampuan bahan untuk menghantarkan panas. Energi panas tersebut diangkut dari suhu tinggi ke suhu yang lebih rendah [1].

Tembaga merupakan logam yang memiliki konduktivitas yang sangat baik. Tembaga banyak dipadukan dengan unsur-unsur lain untuk memperbaiki sifatnya, salah satunya adalah paduan tembaga dengan aluminium sebagai paduan utamanya dan beberapa beberapa unsur tambahan seperti besi, silikon, nikel dan mangan [2]. Kandungan aluminium dalam paduan ini sekitar 6% sampai 12% [3].

Paduan tembaga dengan aluminium memiliki konduktivitas termal lebih baik jika dibandingkan dengan paduan besi dan tidak lebih baik dari tembaga murni. Konduktivitas termal dipengaruhi oleh kombinasi komposisi unsur penyusun dan temperatur. Unsur aluminium memiliki pengaruh yang signifikan pada konduktivitas termal paduan tembaga dengan aluminium [4].

Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian konduktivitas termal pada paduan tembaga

dengan variasi penambahan 10%, 20% dan 30% aluminium. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa pengaruh variasi penambahan aluminium sebesar 10%, 20% dan 30% terhadap konduktivitas termal bahan.

Adapun batasan masalah pada penelitian ini, antara lain:

1. Penelitian ini hanya menggunakan pengujian konduktivitas termal (skala laboratorium) untuk menganalisis pengaruh variasi penambahan aluminium sebesar 10%, 20% dan 30% pada paduan tembaga dalam menghantarkan panas.
2. Jenis konduktivitas yang ditinjau adalah jenis konduksi linier.
3. Isolasi spesimen menggunakan resin polyester.
4. Logam tembaga dan aluminium yang digunakan mengacu pada logam yang ada di Indonesia.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Tembaga

Tembaga (*Cuprum*) adalah suatu unsur kimia dengan nomor atom 29 pada tabel periodik unsur dan memiliki bentuk struktur kristal FCC (*Face-Centered Cubic*). Tembaga memiliki berat atom 63,54 u, massa jenis sekitar 0,321 lb/in<sup>2</sup> (8,89 g/cc) dan titik lebur pada suhu 1981 °F (1083 °C). Konduktivitas termal tembaga pada temperatur 20 °C sebesar 394 W/mK [3]. Sifat-sifat dari tembaga dapat dipadukan dengan unsur-unsur lain sesuai dengan kebutuhan, unsur-unsur tersebut antara lain seng, nikel, timah dan aluminium.

### 2.2 Aluminium

Aluminium murni merupakan logam yang relatif lunak dengan kekuatan luluh (*yield strength*) sekitar 34,5 N/mm<sup>2</sup> (5000 lb/in<sup>2</sup>) dan kekuatan tarik 90 N/mm<sup>2</sup> (13000 lb/in<sup>2</sup>). Sifat-sifat lain dari aluminium yang menguntungkan antara lain konduktivitas termal yang baik (sekitar 237 W/mK), konduktivitas listrik yang tinggi, memiliki daya reflektivitas, memiliki keuletan yang tinggi dan biaya produksi yang relatif rendah, dan tidak bersifat beracun.

### 2.3 Hukum Fourier (*Fourier's Law*)

Perpindahan panas secara konduksi merupakan proses perpindahan panas dimana energi panas mengalir dari daerah yang bersuhu lebih tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah dalam suatu medium padat atau fluida yang diam [5].

Persamaan umum laju konduksi untuk perpindahan panas secara konduksi dikenal dengan hukum Fourier (*Fourier's law*). Persamaan ini digunakan untuk menghitung jumlah energi yang ditransfer per satuan waktu.

### 2.4 Konduktivitas Termal

Jika di sepanjang logam memiliki perbedaan temperatur yang signifikan karena terdapat sumber panas pada sisi kiri dan penyerapan panas pada sisi kanan. Sehingga, besarnya daya listrik (*W*) dapat dihitung dengan rumus:

$$W = q_x \cdot V \cdot I \quad (1)$$

Dimana :

*W* = daya listrik (W)

*V* = beda potensial listrik (V)

*I* = kuat arus listrik (A)

Maka untuk mencari koefisien dapat menggunakan rumus:

$$k = q_x \cdot L / (A \cdot \Delta T) \quad (2)$$

Dimana :

*k* = koefisien konduktivitas termal (W/m.K)

*A* = luas penampang (m<sup>2</sup>)

*q<sub>x</sub>* = laju perpindahan

panas (W)

*L* = tebal spesimen (m)

$\Delta T$  = beda temperatur (K)

## 3. Metode Penelitian

Variasi penambahan aluminium (fraksi massa) adalah sebesar 10%, 20% dan 30% pada paduan tembaga. Spesimen pengujian memiliki tebal 20 mm dan diameter 30 mm. Sekeliling spesimen diberikan isolasi resin polyester agar panas yang diberikan dapat terkonsentrasi dan diserap dengan baik oleh spesimen uji.

**Tabel 1. Perbandingan unsur spesimen**

No	Tembaga (%)	Aluminium (%)	Kode
1.	100	0	A0
2.	90	10	A1
3.	80	20	A2
4.	70	30	A3
5.	0	100	A4

### 3.1 Proses Pembuatan Spesimen

Langkah-langkah pembuatan spesimen uji konduktivitas termal dengan perbandingan 90% tembaga dengan 10% aluminium adalah sebagai berikut:

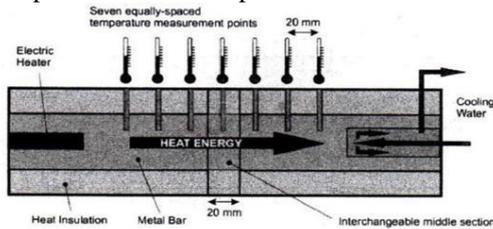
1. Tembaga dan aluminium disiapkan.
2. Tembaga dicairkan di dalam suatu tungku sampai temperatur 1100°C.
3. Aluminium dimasukkan ke dalam cairan tembaga dengan temperatur tetap dijaga pada suhu 1100°C.
4. Setelah cairan tercampur, campuran tersebut dituangkan ke dalam cetakan yang sudah disiapkan dan didinginkan secara perlahan sampai mencapai temperatur kamar.
5. Bentuk spesimen uji disesuaikan dengan alat uji konduktivitas termal Heat Transfer Experiment Base Unit merk TQ dengan diameter 30 mm dan tebal 20 mm. Permukaan spesimen uji diusahakan sehalus mungkin agar pada saat melakukan pengujian tidak terdapat celah pada permukaan spesimen uji tersebut.
6. Termokopel dipasang dan akan terhubung langsung ke alat uji konduktivitas termal.
7. Spesimen uji siap untuk diujikan.
8. Proses di atas diulangi untuk mencetak spesimen uji dengan perbandingan 80% tembaga dengan 20% aluminium dan 70% tembaga dengan 30% aluminium.

### 3.2 Proses Pengujian Konduktivitas Termal

Adapun prosedur pengujian dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

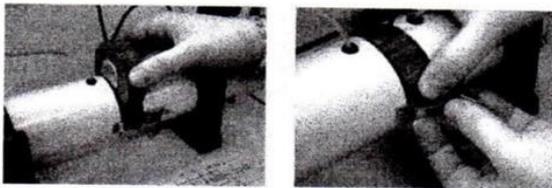
1. Spesimen uji dengan perbandingan 90% tembaga dan 10% aluminium yang sudah sesuai dengan alat uji konduktivitas termal Heat Transfer Experiment Base Unit merk TQ disiapkan.
2. Alat uji Heat Transfer Experiment Base Unit

- merk TQ disiapkan untuk melakukan proses pengujian.
- 3. Alat Linier Heat Conduction (TD1002A) disiapkan.
- 4. Penempatan alat ukur temperatur.



**Gambar 1. Penempatan alat ukur temperatur**

- 5. Proses pemasangan spesimen uji.



**Gambar 2. Proses pemasangan spesimen uji**

- 6. Air dialirkan melalui selang sehingga air dapat bersirkulasi dengan baik pada alat pengujian.
- 7. Daya listrik pada alat pengujian dinyalakan.
- 8. Selanjutnya, *Software* "Tecquipment VDAS" dibuka pada komputer.
- 9. Kuat arus yang mengalir diukur dengan menggunakan ampere meter.
- 10. Baca dan catat temperatur  $T_1$  sampai  $T_7$  sampai kondisi steady state.
- 11. Setelah proses pengujian selesai, heater dan aliran air dimatikan.
- 12. Temperatur ditunggu sampai kembali ke temperatur kamar.
- 13. Proses di atas diulangi kembali menggunakan spesimen uji dengan perbandingan 80% tembaga dengan 20% aluminium dan 70% tembaga dengan 30% aluminium.

**4. Hasil dan Pembahasan**

**4.1 Data Pengujian Konduktivitas Termal**

Berikut ini merupakan data pengujian konduktivitas termal pada kondisi *steady state*.

**Tabel 2. Data pengujian konduktivitas termal**

Nama Spesimen	Temperatur (°C)						
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>
A0	31,7	31,3	30,8	30,7	30,0	29,9	29,7
A1	31,6	31,2	30,8	30,4	29,8	29,7	29,5
A2	35,2	34,5	33,7	32,8	31,5	31,1	30,8
A3	41,7	40,6	39,5	38,2	36,3	35,7	35,1
A4	35,1	34,6	34,2	31,1	30,8	30,5	30,4

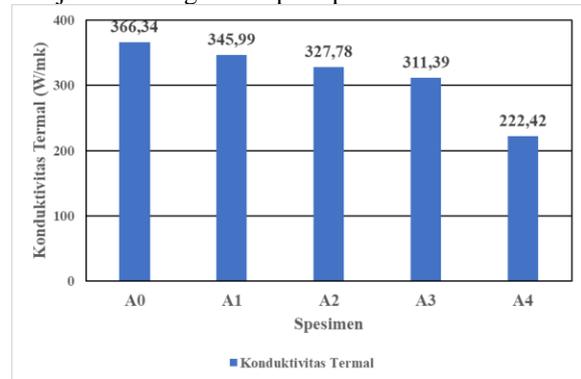
**4.2 Data Hasil Perhitungan Konduktivitas Termal**

Data hasil pengujian konduktivitas termal pada Tabel 1, kemudian dihitung hingga mendapatkan hasil konduktivitas termal. Setelah itu, hasil dari perhitungan tersebut di plot ke dalam bentuk tabel.

**Tabel 3. Data hasil perhitungan konduktivitas termal**

Nama	qx (W)	A (m <sup>2</sup> )	L (m)	ΔT (K)	k (W/mk)
A0	22	0,0007065	0,02	1,7	366,34
A1	22	0,0007065	0,02	1,8	345,99
A2	22	0,0007065	0,02	1,9	327,78
A3	22	0,0007065	0,02	2,0	311,39
A4	22	0,0007065	0,02	2,8	222,42

Kemudian, dari data tabel di atas diubah menjadi bentuk grafik seperti pada Gambar 3.



**Gambar 3. Grafik pengaruh variasi aluminium pada paduan tembaga**

Gambar 3 menunjukkan hubungan antara konduktivitas termal dengan benda uji hasil rancang bangun paduan antara tembaga dan aluminium. Rasio paduan tembaga dan aluminium dirancang dengan komposisi Cu (100%), Al (10%) : Cu (90%), Al (20%) : Cu (80%), Al (30%) : Cu (70%), Al (100%), yang secara berurutan disimbolkan pada grafik sebagai A0, A1, A2, A3 dan A4. Dari grafik tersebut dapat dianalisa bahwa kenaikan nilai konduktivitas termal berbanding terbalik dengan rancangan rasio antara paduan Cu dan Al, yang mana semakin meningkat penambahan rasio Al pada paduan Cu didapatkan penurunan nilai konduktivitas termal.

Hal ini, dijelaskan juga oleh Meigh [4] dari hasil penelitiannya bahwa paduan tembaga akan mengalami perubahan yang signifikan pada sifat fisis dalam hal ini penurunan terhadap nilai konduktivitas termal apabila dipadukan dengan logam lain, seperti Aluminium (Al).

Dari rancang bangun yang dilakukan pada penelitian ini, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3 dan Tabel 3 diperoleh nilai konduktivitas termal tertinggi untuk paduan Cu dan Al dengan rasio Al (10%) : Cu (90%). Pada spesimen A0 dengan 100% tembaga memiliki nilai konduktivitas termal sebesar 366,34 W/mK, spesimen A1 dengan campuran 90% tembaga dan 10% aluminium memiliki nilai konduktivitas termal sebesar 345,99 W/mK, spesimen A2 dengan campuran 80% tembaga dan 20% aluminium memiliki nilai konduktivitas termal sebesar 327,78 W/mK, spesimen A3 dengan campuran 70% tembaga dan 30% aluminium memiliki nilai konduktivitas termal sebesar 311,39 W/mK dan spesimen A4 dengan 100% aluminium memiliki konduktivitas termal sebesar 222,42 W/mK. Pada spesimen A0, A1, A2, A3 dan A4 menunjukkan penurunan nilai konduktivitas termal secara linier seiring dengan penambahan aluminium pada paduan tembaga.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan seluruh tahapan penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan bahwa pengaruh variasi penambahan aluminium terhadap konduktivitas termal paduan tembaga adalah nilai konduktivitas termal paduan tembaga mengalami penurunan seiring dengan penambahan unsur aluminium pada paduan tersebut. Nilai konduktivitas termal spesimen A0 sebesar 366,34 W/mK, spesimen A1 sebesar 327,78 W/mK, spesimen A2 sebesar 327,78 W/mK, spesimen A3 sebesar 311,39 W/mK dan spesimen A4 sebesar 222,42 W/mK.

## Daftar Pustaka

- [1] Sari, NH., 2018, *Material Teknik*, Yogyakarta : Deepublish.
- [2] Brady GS, Clauser HR, Vaccari JA., 2002, *Material Handbook 15th ed.* US : McGraw-Hill.
- [3] Copper Development Association, 2010, *A Guide to Working With Copper and Copper Alloys*. New York : Copper Development Association.
- [4] Meigh, HJ., 2008, *Cast and Wrought Aluminium Bronze Properties, Processes and Structure*, UK: Maney Publishing.
- [5] Incropera FP, Dewitt DP, Bergman TL, Lavine AS. 2007. *Fundamentals of Heat and*

*Mass Transfer 6th ed.* US : John Wiley & Sons.



# Rancang Bangun Pengaruh Variasi Penambahan Tembaga Pada Paduan Aluminium Terhadap Konduktivitas Termal Bahan

I Gusti Ngurah Arya Wijaya Putra, I Made Astika, I Gusti Ketut Sukadana  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

---

## Abstrak

Penggunaan bahan aluminium paduan dalam pasar industri mendorong perkembangan material-material baru untuk mendapatkan material dengan sifat yang lebih baik dari material konvensional. Dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi penambahan tembaga sebesar 10%, 20%, 30% pada paduan aluminium terhadap konduktivitas termal. Analisis dalam penelitian ini menggunakan variabel bebas yaitu variasi penambahan tembaga sebesar 10%, 20%, 30% pada paduan aluminium. Sedangkan, variabel terikatnya adalah konduktivitas termal. Pengujian konduktivitas termal menggunakan alat uji Heat Transfer Experiment Base Unit merk TQ. Dimensi spesimen uji yaitu diameter 30 mm dan tebal 20 mm. Hasil dari penelitian ini adalah nilai konduktivitas termal bahan pada paduan aluminium tembaga memiliki nilai konduktivitas termal semakin meningkat seiring dengan penambahan tembaga pada paduan aluminium.

Kata kunci: Paduan aluminium, tembaga, konduktivitas termal

## Abstract

The use of aluminum alloys in the industrial market encourages the development of new materials to obtain materials with better properties than conventional materials. This study aims to determine the effect of variations in the addition of copper by 10%, 20%, 30% in aluminum alloys on thermal conductivity. The analysis in this study used independent variables, namely variations in the addition of copper by 10%, 20%, 30% in aluminum alloys. Meanwhile, the dependent variable is thermal conductivity. The thermal conductivity test uses the TQ Heat Transfer Experiment Base Unit tester. The dimensions of the test specimens were 30 mm in diameter and 20 mm thick. The results of this study are the value of thermal conductivity of materials in copper aluminum alloys have better thermal conductivity values along with the addition of copper to aluminum alloys.

Keyword: Aluminium alloy, copper, thermal conductivity

---

## 1. Pendahuluan

Penggunaan bahan aluminium paduan dalam pasar industri mendorong perkembangan material-material baru untuk mendapatkan material dengan sifat yang lebih baik dari material konvensional. Paduan unik dari sifat yang membuatnya menjadi salah satu bahan serbaguna.

Penggunaan bahan aluminium paduan dalam pasar industri mendorong perkembangan material-material baru untuk mendapatkan material dengan sifat yang lebih baik dari material konvensional. Paduan unik dari sifat yang membuatnya menjadi salah satu bahan serbaguna

Paduan aluminium dengan unsur tembaga sebagai elemen paduan utama, merupakan jenis paduan aluminium yang sangat terkenal. Penambahan unsur paduan seperti tembaga pada aluminium akan meningkatkan kekuatan mekanis logam tersebut. Hal ini disebabkan karena sifat mekanis dari paduan ini yang tergolong baik, disamping ketahanannya terhadap korosi serta mudah untuk diproses mesin, jenis paduan ini banyak dipakai pada industri otomotif. Tembaga merupakan bahan yang memiliki kemampuan hantaran listrik dan panas yang baik. Tembaga murni telah memiliki konduktivitas listrik sebesar 103% [1]. Dengan penambahan unsur tembaga

pada paduan aluminium kekerasannya akan meningkat, daya tahan korosif turun dan berat jenisnya akan meningkat sesuai dengan jumlah kandungan tembaga. Tembaga ditambahkan untuk meningkatkan kekuatan dan ketahanan terhadap lelah (*fatigue*). Sifat termal memiliki hubungan terhadap nilai konduktivitas termal. Konduktivitas termal adalah suatu besaran intensif bahan yang menunjukkan kemampuannya untuk menghantarkan panas [2].

Dari pemaparan di atas maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut: Bagaimana pengaruh penambahan tembaga sebesar 10%, 20%, 30% pada paduan aluminium terhadap nilai konduktivitas termal bahan?

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini hanya menggunakan pengujian konduktivitas termal (skala laboratorium) untuk mengetahui kemampuan paduan aluminium dengan variasi penambahan tembaga sebesar 10%, 20%, 30% dalam menghantarkan panas.
2. Jenis konduktivitas yang ditinjau adalah jenis konduksi linier.
3. Isolasi spesimen menggunakan resin polyester. Logam aluminium dan tembaga yang digunakan

dalam paduan aluminium tembaga mengacu pada logam yang ada di Indonesia.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Aluminium

Aluminium ialah logam yang memiliki fleksibilitas tinggi dalam penggunaannya setelah baja. Perkembangan ini didasarkan pada sifat-sifatnya yang ringan, tahan korosi, kekuatan dan ductility yang cukup baik (aluminium paduan), mudah diproduksi dan cukup ekonomis (aluminium daur ulang). Memadukan unsur-unsur lainnya, sifat murni aluminium dapat diperbaiki.

### 2.2 Tembaga

Tembaga adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Cu dan nomor atom 29. Logam yang mempunyai sifat lunak dan liat, penghantar panas dan listrik yang baik, memiliki kesiapan untuk membentuk campuran-campuran, lebih merata pada waktu pendinginan, dapat dikerjakan dalam keadaan panas maupun dingin, memiliki ketahanan terhadap efek-efek korosi dari udara. Tembaga ditambahkan untuk meningkatkan kekuatan dan ketahanan lelah (*fatigue*). Tembaga memiliki struktur kristal FCC (*Face Cubic Centered*) dengan  $a = 3,607 \text{ \AA}$  [3].

### 2.3 Paduan Al-Cu

Paduan Al-Cu adalah paduan yang dapat diperlakukan-panaskan. Paduan aluminium yang mengandung tembaga 4,5% memiliki sifat-sifat mekanis dan mampu mesin yang baik sedang mampu coranya agak jelek. Pengaruh unsur tembaga dalam paduan aluminium adalah keuntungan yang diperoleh karena menggunakan tembaga sebagai unsur paduan juga lebih banyak dibanding kerugiannya. Keuntungan menggunakan tembaga sebagai unsur paduan membuat tingkat kekerasan bahan hasil coran tersebut meningkat, kekuatan tariknya menjadi lebih baik, serta mempermudah dalam pengerjaan mesin.

### 2.4 Konduktivitas Termal

Perpindahan panas secara konduksi merupakan proses perpindahan panas dimana energi panas mengalir dari daerah yang bersuhu lebih tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah dalam suatu medium padat atau fluida yang diam [4]. Proses terjadinya perpindahan panas secara konduksi dapat dengan mudah dipahami jika proses tersebut terjadi pada zat gas. Jika pada zat tersebut mengalami perbedaan temperatur dan diasumsikan tidak ada *bulk, macroscopic, motion*. Persamaan umum laju konduksi untuk perpindahan panas secara konduksi dikenal dengan hukum Fourier (*Fourier's law*).

$$q_x'' = -k \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Dimana,

$q_x''$  = Heat Flux

$K$  = Konduktivitas Thermal

$\frac{dT}{dx}$  = Gradien Temperatur

Distribusi temperatur terjadi secara linear maka persamaan gradien temperaturnya menjadi,

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (2)$$

Maka Heat Flux,

$$q_x'' = -k \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (3)$$

Persamaan untuk mencari *heat rate* yang melintasi dinding dengan luas A maka persamaannya menjadi,

$$q_x = q_x'' \cdot A. \quad (4)$$

Persamaan untuk menghitung perpindahan panas menjadi,

$$q_x = kA \frac{\Delta T}{L} \quad (5)$$

## 3. Metode Penelitian

### 3.1 Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Aluminium
2. Tembaga
3. Resin Polyester
4. Pipa PVC 2 Inchi

### 3.2 Alat Penelitian

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Heat Transfer Experiment Base Unit merk TQ
2. Termogun Termometer Infrared Laser
3. Temokopel
4. Timbangan Digital
5. Amperemeter
6. Pengecoran Logam

### 3.2 Range Pengujian

Variasi perlakuan dalam penelitian ini adalah :

1. Penambahan paduan Tembaga 10%
2. Penambahan paduan Tembaga 20%
3. Penambahan paduan Tembaga 20%

### 3.3 Pembuatan Spesimen

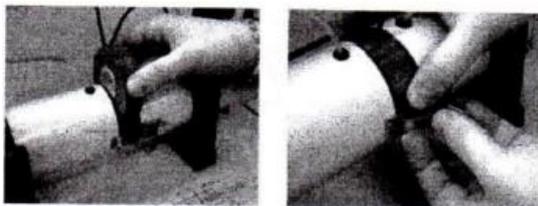
Langkah-langkah pembuatan spesimen uji konduktivitas termal dengan perbandingan 90% aluminium dengan 10% tembaga adalah sebagai berikut:

1. Aluminium dan tembaga disiapkan.
2. Aluminium dicairkan didalam suatu tungku.
3. Tembaga dimasukkan ke dalam cairan aluminium dengan temperatur tetap dijaga pada suhu 1100oC.
4. Setelah cairan tercampur, campuran tersebut dituangkan ke dalam cetakan yang sudah

- disiapkan dan didinginkan secara perlahan sampai mencapai temperatur kamar .
- Bentuk spesimen uji disesuaikan dengan alat uji konduktivitas termal Heat Transfer Experiment Base Unit merk TQ dengan diameter 30 mm dan tebal 20 mm. Permukaan spesimen uji diusahakan sehalus mungkin agar pada saat melakukan pengujian tidak terdapat celah pada permukaan spesimen uji tersebut.
  - Termokopel dipasang untuk melengkapi spesimen uji tersebut. Termokopel nantinya akan terhubung langsung ke alat uji konduktivitas termal.
  - Spesimen uji siap untuk diujikan .
  - Proses diulangi untuk mencetak spesimen uji dengan perbandingan 80% aluminium dengan 20% tembaga, 70% aluminium dengan 30% tembaga.

### 3.3 Prosedur Penelitian

- Spesimen uji dengan perbandingan 90% aluminium dan 10% tembaga yang sudah sesuai dengan alat uji konduktivitas termal Heat Transfer Experiment Base Unit merk TQ dipersiapkan.
- Alat uji Heat Transfer Experiment Base Unit merk TQ disiapkan untuk melakukan proses pengujian .
- Alat Linier Heat Conduction (TD1002A) dan alat ukur temperatur disiapkan .
- pasangan alat uji seperti Gambar 3.1



Gambar 1 Pemasangan Alat Uji

- Air dialirkan melalui selang sehingga air dapat bersirkulasi dengan baik pada alat pengujian .
- Daya listrik pada alat pengujian dinyalakan .
- Selanjutnya, *Software* "Tecquipment VDAS" dibuka pada komputer.
- Kuat arus yang mengalir diukur dengan menggunakan ampere meter.
- Baca dan catat temperatur T1 sampai T7 sampai kondisi steady state.
- Setelah proses pengujian selesai, *heater* dan aliran air dimatikan.
- Temperatur ditunggu sampai kembali ke temperatur kamar.
- Proses di atas diulangi untuk mencetak spesimen uji dengan perbandingan 80% aluminium dengan 20% tembaga, 70% aluminium dengan 30% tembaga.

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1. Data Spesifikasi

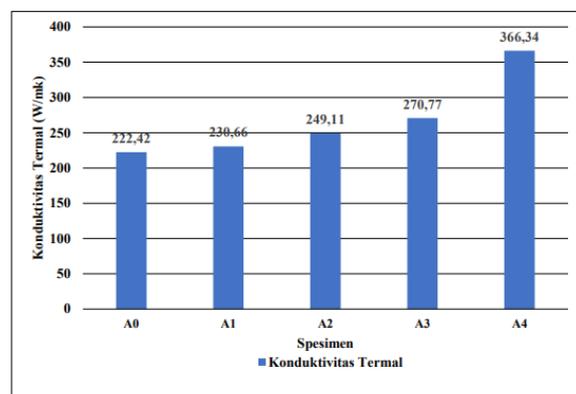
Spesimen yang diuji adalah spesimen A0, A1, A2, A3, A4 . Perhitungan nilai  $k$  untuk mendapatkan nilai konduktivitas termal dimana, Tebal spesimen (m) : 20 mm = 0,02 m, Diameter spesimen (m) : 30 mm = 0,03 m, Beda potensial (V) : 220 V, Arus listrik (A) : 0,1 A, Waktu pengujian (s) : 2000 s, Pengambilan data setiap 2 s : 1000 data/spesimen

### 4.2 Hasil Uji Spesimen

Berikut adalah data pengujian konduktivitas thermal dengan kondisi stabil.

Tabel 1 Data Pengujian Konduktivitas Thermal

%Cu	qx (W)	A (m2)	L (m)	$\Delta T$ (K)	k (W/mk)
0	22	0,0007065	0,02	2,8	222,42
10	22	0,0007065	0,02	2,7	230,66
20	22	0,0007065	0,02	2,5	249,11
30	22	0,0007065	0,02	2,3	270,77
100	22	0,0007065	0,02	1,7	366,34



Gambar 2 Grafik pengaruh variasi penambahan tembaga terhadap konduktivitas termal paduan aluminium

Tabel 1 dan Gambar 2 menunjukkan hubungan konduktivitas termal dengan benda uji hasil rancang bangun paduan antara aluminium dan tembaga. Rasio paduan aluminium dan tembaga dirancang dengan komposisi Al (100%), Al (90%) : Cu (10%), Al (80%) : Cu (20%), Al (70%) : Cu (30%), Cu (100%), yang secara berurutan disimbolkan pada grafik sebagai A0, A1, A2, A3 dan A4. Dari grafik tersebut dapat dianalisa bahwa kenaikan nilai konduktivitas termal berbanding lurus dengan rancangan rasio antara Al dan Cu, dimana semakin meningkat penambahan rasio Cu pada Al didapatkan peningkatan nilai konduktivitas termal. Dari rancang bangun yang dilakukan pada penelitian ini, ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 2 diperoleh nilai konduktivitas termal tertinggi untuk paduan antara Al dan Cu dengan rasio Al (70%) : Cu (30%) senilai 270,77 W/mK dan terendah pada paduan Al (90%) : Cu (10%) senilai 230,66 W/mK.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan seluruh tahapan penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan

bahwa pengaruh variasi penambahan tembaga pada paduan aluminium terhadap konduktivitas termal adalah nilai konduktivitas termal paduan tembaga mengalami peningkatan seiring dengan penambahan unsur tembaga pada paduan tersebut. Nilai konduktivitas termal spesimen A1 sebesar 230,66 W/mK, spesimen A2 sebesar 249,11 W/mK dan spesimen A3 sebesar 270,77 W/mK.

#### Daftar Pustaka

- [1] Surdia T dan Saito S., 2000, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Jakarta, Pradnya Paramita
- [2] Sari, NH. 2018. *Material Teknik*, Yogyakarta, Deepublish.
- [3] Copper Development Association, 2010, *A Guide to Working With Copper and Copper Alloys*, New York: Copper Development Association.
- [4] Incropera FP, Dewitt DP, Bergman TL, Lavine AS. 2007. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 6th ed. US, John Wiley & Sons.

	<p><b>I Gusti Ngurah Arya Wijaya Putra</b> Lulus dari sekolah menengah di SMA N 5 Denpasar pada tahun 2016, melanjutkan program sarjana di Universitas Udayana mengambil Jurusan T Mesin pada tahun 2016, dan menyelesaikan pada tahun 2021.</p>
<p>Bidang yang diminati adalah teknik mesin dan Konversi Energi.</p>	

# Pengaruh Variasi Penambahan Magnesium Pada Paduan Aluminium Terhadap Konduktivitas Termal Bahan

I Gusti Ngurah Agung Angga Wira Putra, I Made Astika, I Gusti KetutSukadana  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

Aluminium adalah logam dengan konduktivitas hangat. Aluminium secara luas digabungkan dengan berbagai komponen, salah satunya adalah magnesium. Motivasi di balik penyelidikan adalah untuk memecah dampak varietas dalam ekspansi Magnesium ke Aluminium pada konduktivitas hangat material. Memanfaatkan faktor bebas, khususnya varietas dalam ekspansi Magnesium sebesar 10%, 20%, 30%, dan 40% dalam amalgam Aluminium. Variabel yang bergantung adalah konduktivitas hangat material. Memanfaatkan alat uji Warmth Move Investigation Base Unit merk TQ. Komponen contoh uji adalah lebarnya 30 mm dan tebalnya 20 mm. Konsekuensi dari eksplorasi ini adalah bahwa konduktivitas hangat secara umum akan berkurang dengan ekspansi magnesium ke senyawa aluminium.

Kata kunci : Paduan Aluminium, magnesium, konduktivitas termal bahan

## Abstract

Aluminum is a metal with excellent thermal conductivity. Aluminum is a lot combined with various elements magnesium. The motivation behind the investigation was to break down the impact of varieties in the expansion of Magnesium to Aluminum on the warm conductivity of the material. Utilizing the test gear Warmth Move Investigation Base Unit brand TQ. The components of the test examples are 30 mm in breadth and 20 mm thick. The consequence of this exploration is that the warm conductivity will in general diminish with the expansion of magnesium to the aluminum compound.

Keywords: Aluminium Alloy, magnesium, thermal conductivity of the materials

## 1. Pendahuluan

Aluminium sebagai komposit, biasa dikenal sebagai amalgam aluminium, memiliki sifat khusus, khususnya: ringan, padat, dan tahan terhadap konsumsi dalam iklim dan sebagai pemancar panas dan daya yang layak[1].

Magnesium merupakan salah satu logam yang kerap kali di gunakan sebagai paduan dalam pegecoran aluminium. Penambahan Magnesium dalam paduan aluminium menyebabkan peningkatan kekuatan dan kekerasan pada aluminium [2].

Berdasarkan uraian tersebut penelien ini akan di lakukan untuk menganalisa pengaruh penambahan magnesium pada paduan aluminium terhadap konduktivitas termal untuk mengetahui kemampuan bahan tersebut dalam menghantarkan panas dimana akan di lakukan pengujian konduktivitas termal pada paduan aluminium dengan variasi penambahan magnesium sebesar 10%, 20% 30%, dan 40%. Pembuatan paduan aluminium dapat di lakukan dengan melebur aluminium dengan logam magnesium dalam proses pengecoran.

Motivasi di balik pemeriksaan ini adalah untuk memecah dampak varietas dalam ekspansi magnesium sebesar 10%, 20%, 30%, dan 40%, untuk amalgam aluminium pada konduktivitas hangat bahan.

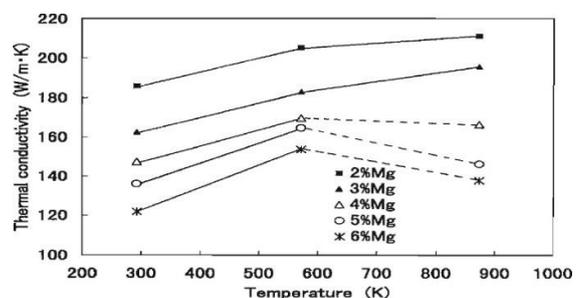
Terdapat batasan masalah penelitian yaitu sebagai berikut :

- Penelitian ini menggunakan pengujian konduktivitas termal (skala laboratorium) untuk mengetahui kemampuan paduan aluminium dengan variasi penambahan magnesium sebesar 10%, 20%, 30%, 40% dalam pemanasan awal.
- Jenis konduktivitas yang layak adalah jenis konduksi lurus
- Detasemen contoh memanfaatkan getah poliester

## 2. Dasar Teori

### 2.1. Paduan Aluminium-Magnesium

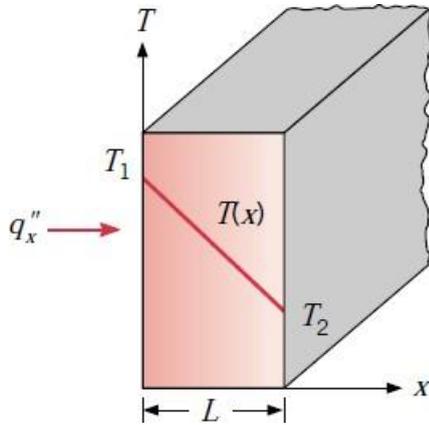
Paduan Al-Mg merupakan paduan yang memiliki sifat paling baik dalam daya tahan korosi, dan dalam sifat mampulasnya [3].



Gambar 1. Diagram Fase Paduan Al-Mg

### 2.2. Konduktivitas Termal

Perpindahan panas secara konduksi memiliki hubungan erat dengan atom dan aktivitas molekul.



**Gambar 2. Perpindahan panas secara konduksi dengan penyebaran energi berdasarkan aktivitas molekul**

Konduksi satu dimensi yang terjadi pada dinding (Gambar 2) yang mempunyai distribusi temperatur  $T(x)$  maka persamaannya menjadi

$$qx = -k \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Dimana :

$qx$  = laju perpindahan panas ( $W/m^2$ )

$\frac{dT}{dx}$  = gradien temperatur (K)

$k$  = koefisien konduktivitas termal ( $W/m.K$ )

Pada keadaan *steady-state*, dimana distribusi temperatur terjadi secara linear maka persamaan gradien temperaturnya menjadi

$$qx = -k \frac{T_1 - T_2}{L} = k \frac{\Delta T}{L} \quad (2)$$

Apabila di logam ada perbedaan temperatur yang signifikan karena sumber panas pada sisi kiri dan penyerapan panas pada sisi kanan. Sumber panas terbuat dari pemanas listrik sehingga :

$$W = qx = V \cdot I \quad (3)$$

Dimana :

$W$  = daya listrik. (W)

$V$  = beda potensial. listrik (V)

$I$  = kuat arus listrik (A)

Persamaan untuk menghitung perpindahan panas menjadi

$$qx = kA \frac{\Delta T}{L} \quad (4)$$

Untuk mencari koefisien  $k$  :

$$k = \frac{qx}{A} \cdot \frac{L}{\Delta T} \quad (5)$$

### 3. Metode Penelitian

Varietas pemuatan magnesium adalah 10%, 20%, 30%, dan 40% pada komposit aluminium. Contoh uji memiliki ketebalan 20 mm, jarak 30 mm (menerima sesuatu yang serupa untuk setiap contoh). Di sekitar contoh, perlindungan tar poliester diberikan agar kehangatan yang diberikan dapat dipikirkan dan dikonsumsi oleh contoh uji

**Tabel 1 Pemeriksaan komponen aluminium dengan magnesium pada masing-masing komposisi paduan aluminium**

No	Aluminium (%)	Magnesium (%)	Kode
1.	100	0	A0
2.	90	10	A1
3.	80	20	A2
4.	70	30	A3
5.	60	40	A4
6.	0	100	A5

#### 3.1. Proses Pembuatan Spesimen

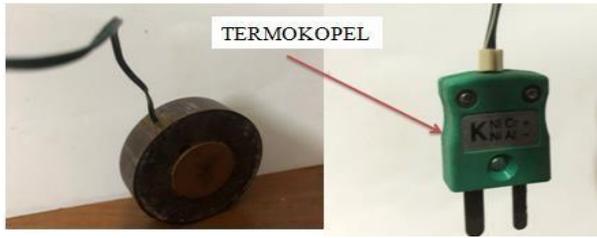
Produksi contoh uji konduktivitas hangat dengan proporsi 90% magnesium hingga 10% aluminium adalah sebagai berikut:

1. Aluminium, magnesium di siapkan.
2. Alumunium dicairkan pada suatu tungku mencapai temperatur 1100°C.
3. Magnesium dimasukan ke dalam cairan aluminium
4. Campuran di tuangkan ke dalam masing masing cetakan dan di dinginkan secara perlahan
5. Keadaan contoh uji di ubah dengan peralatan uji konduktivitas hangat. Permukaan spesimen uji diusahakan sehalus mungkin sehingga tidak ada lubang di bagian luar contoh
6. Termokopel diperkenalkan untuk menyelesaikan spesimen uji tersebut



**Gambar 3. Bentuk spesimen uji**

Termokopel selanjutnya terhubung ke alat uji konduktivitas termal.

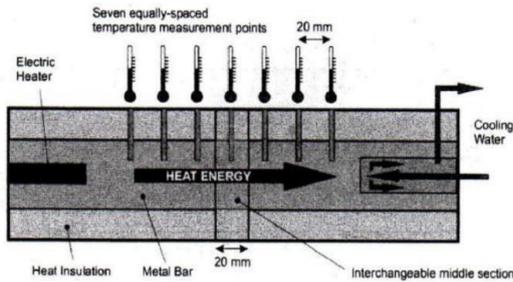


**Gambar 4.** Termokopel yang terpasang pada spesimen uji

7. Spesimen siap diujikan.
8. Proses itu diulangi untuk mencetak spesimen dengan perbandingan 80% aluminium 20% magnesium, 70% aluminium 30% magnesium, 60% aluminium 40% magnesium.

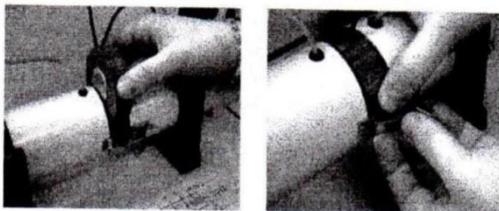
**3.2. Proses Pengujian Konduktivitas Termal**

1. Spesimen uji perbandingan 90% aluminium 10% magnesium yang sudah sesuai dengan alat uji konduktivitas termal disiapkan
2. Alat uji Heat Transfer Experiment Base Unit merk TQ disiapkan
3. Siapkan alat Linier Heat Conduction
4. Alat ukur temperatur



**Gambar 5.** Posisi pemeriksaan suhu

5. Instalasi spesimen



**Gambar 6.** Proses contoh uji ukuran

6. Air mengalir melalui selang
7. Daya listrik pada perangkat keras uji dihidupkan.
8. sofwer “Tecquipment VDAS” di buka padakomputer.
9. Baca dan catat temperatur  $T_1$  sampai  $T_7$  sampai kondisi *steady state*.

10. Temperatur ditunggu hingga kembali ke temperature kamar.

**4. Hasil dan Pembahasan**

**4.1. Data Hasil Pengujian Konduktivitas Termal**

**Tabel 2. Data Hasil Pengujian Konduktivitas Termal**

Data Spesimen	Temperatur						
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
A0	45,6	44,6	43,7	38,4	34,5	34,3	34,0
A1	34,3	33,9	33,5	30,8	30,5	30,4	30,2
A2	35,7	35,1	34,7	32,6	30,7	30,5	30,4
A3	45,0	44,0	43,1	34,8	34,5	34,1	33,7
A4	45,6	44,6	43,7	38,6	34,7	34,3	34,0
A5	35,1	34,6	34,2	31,1	30,8	30,5	30,4

**4.2. Hasil Perhitungan Konduktivitas Termal**

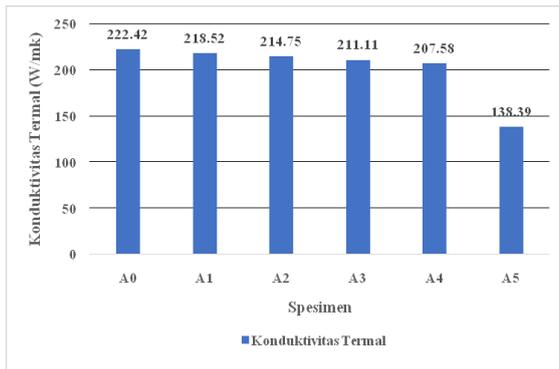
Informasi pengujian menghasilkan tabel 1, selanjutnya dihitung sehingga memperoleh hasil dari perhitunga tersebut.

**Tabel 3. Data hasil perhitungan konduktivitas termal**

Nama	qx		A (m <sup>2</sup> )	L (m)	$\Delta T$ (K)	k (W/mk)
	MG %	(W)				
A0	0	22	0.0007065	0.02	1.7	222.42
A1	10	22	0.0007065	0.02	1.8	218,52
A2	20	22	0.0007065	0.02	1.9	214,75
A3	30	22	0.0007065	0.02	2.0	211.11
A4	40	22	0.0007065	0.02	2.8	207,58
A5	100	22	0.0007065	0.02	4.5	138,39

Selanjutnya, dari data tabel diatas dirubah menjadi bentuk grafik seperti pada gambar 7.

Gambar 7 menunjukkan hubungan paduan antara aluminium dan magnesium. Proporsi kombinasi aluminium dan magnesium direncanakan dengan susunan Al (100%), Al (90%) : Mg (10%), Al (80%) : Mg (20%), Al (70%) : Mg (30%), Al (60%) : Mg (40%), Mg (100%), sangat baik dapat diuraikan bahwa penurunan nilai konduktivitas hangat berbanding terbalik dengan proporsi rencana antara Al dan Mg, Seperti yang ditunjukkan oleh Rudi Siswanto (4) komposit aluminium mengalami perubahan fisik dan mekanik. Dalam pemeriksaan ini, sesuai Gambar 7 dan Tabel 3, kita mendapatkan konduktivitas hangat yang rendah yang merupakan insentif untuk kombinasi antara Al dan Mg dengan proporsi Mg (40%) : Al (60%). Dalam contoh A1,A2,A3,A4,A5 menunjukkan pengurangan lurus sesuai dengan pemuaiian magnesium menjadi aluminium.



**Gambar 7. Grafik pengaruh variasi penambahan magnesium terhadap konduktivitas termal paduan aluminium**

	<p><b>Gusti Ngurah Agung Angga Wira Putra</b> menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana, Program Studi Teknik Mesin, pada tahun 2021.</p>
<p>Ruang eksplorasi yang diminati adalah subjek yang diidentifikasi dengan senyawa aluminium dan konduktivitas hangat</p>	

## 5. Kesimpulan

Mengingat eksplorasi, sangat mungkin beralasan bahwa dampak varietas dalam ekspansi magnesium ke amalgam aluminium adalah bahwa konduktivitas hangat dari kombinasi aluminium berkurang dengan ekspansi komponen magnesium. Nilai konduktivitas hangat contoh A0 adalah 222,42 W/mK, A1 adalah 218,52/mK, contoh A2 adalah 214,75 W/mK, contoh A3 adalah 211,11 W/mK dan contoh A4 adalah 207,58/mK, contoh A5 adalah 138,39 W/mK.

## Daftar Pustaka

- [1] Holman,J., 1995, *.Perpindahan Kalor*, Jakarta, Erlangga
- [2] Kurniawan,Isnauari,dkk., 2016, *.Penyelidikan Karakteristik Mekanik Tarik Paduan Alumium Magnesum (Al-Mg) dengan Metode Pengecoran Konvensional*, Jurnal Inotera,Hal 4.
- [3] Ramadhan,S.Syan,dkk., 2015, *.Pembuatan Pelat Paduan Aluminium-Magnesium dan Analisis VariasiKampuh Las Pada Paduan Aluminium-Magnesium Akibat Beban Statik dengan Menggunakan Software ansys Worbench V 14.0*, Jurnal Dinamis, Vol 13 No.2
- [4] Sari,NH., 2018, *.Material Teknik*, Yogyakarta , Deepublish.
- [5] Suarsana, K., 2017, *Karakterisasi Konduktivitas Termal Dan Kekerasan Komposit Aluminium Matrik Penguat Hibrid SiCw/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>*, Yogyakarta, PT. Pradnya Paramitha

# Audit Energi Listrik Dan Analisa Peluang Penghematan Konsumsi Energi Listrik di Hotel Gatsu Indah Denpasar

Gusti Ngurah Made Galang B. P., I.G.B. Wijaya Kusuma, I.G.N. Putu Tenaya  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

Penggunaan energi listrik pada industri perhotelan lebih banyak digunakan pada sistem pencahayaan dan pendinginan, kurang tepatnya pemilihan tipe dan kapasitas pendinginan AC akan mengakibatkan pemborosan energi listrik. Penelitian ini dimaksudkan untuk menghitung beban pendinginan pada kamar Hotel Gatsu Indah agar dapat mengetahui seberapa besar penggunaan energi listrik, 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 Gatsu Indah sebesar 1224.1 W dan nilai rata-rata OTTV sebesar 59.76 W/m<sup>2</sup>, jika di bandingkan dengan standar yaitu 35 W/m<sup>2</sup> Nilai ini termasuk kategori yang cukup tinggi. Rata-rata nilai IKE Hotel Gatsu Indah sepanjang tahun 2019 adalah sebesar 8,76 kWh/m<sup>2</sup>/bulan. jika dibandingkan dengan gedung ber-AC, tingkat efisiensi bangunan Hotel Gatsu Indah termasuk kategori Efisien karena tidak melebihi angka 12.08 kWh/m<sup>2</sup>/bulan.

Kata kunci: Audit energi listrik, Beban pendinginan, OTTV

## Abstract

The use of electrical energy in the Hotel industry is more widely used in lighting and cooling systems. Inaccurate selection of the type and capacity of air conditioning cooling will result in a waste of electrical energy. This research is intended to calculate the cooling load on the Gatsu Indah Hotel room in order to find out how much electricity is wasted, as well as to increase the efficiency of the use of electrical energy. This study uses data collection methods by observation and interviews. Furthermore, data processing is carried out, namely: calculating the value of cooling load, OTTV, and IKE. After getting the results, it is followed by an analysis to get a conclusion. It can be concluded that the average cooling load in the Gatsu Indah Hotel room is 1224.1 W and the average OTTV value is 59.76 W / m<sup>2</sup>, when compared to the standard, namely 35 W / m<sup>2</sup> This value is a fairly large category. The average value of the IKE Hotel Gatsu Indah throughout 2019 is 8.76 kWh / m<sup>2</sup> / month. when compared to air-conditioned buildings, the level of efficiency of the Gatsu Indah Hotel building is in the Efficient category because it does not exceed 12.08 kWh / m<sup>2</sup> / month.

Keywords: Electrical energy audit, cooling load, OTTV

## 1. Pendahuluan

Indonesia adalah negara dengan penggunaan energi yang tergolong boros. Parameter yang digunakan dalam menentukan tingkat pemborosan penggunaan listrik di Indonesia adalah elastisitas dan intensitas energi. Elastisitas energi adalah perbandingan antar pertumbuhan konsumsi energi dengan pertumbuhan ekonomi. Elastisitas energi Indonesia dalam kurun waktu 15 tahun berada pada kisaran 1,04-1,35 sementara negara-negara maju berada pada kisaran 0,55-0,65 dalam waktu yang sama [1].

Kebutuhan energi yang tinggi menuntut semua gedung melakukan efisiensi dalam penggunaannya. Upaya analisa konsumsi energi diperlukan dengan melakukan audit energi untuk mencapai tujuan efisiensi energi. Audit energi merupakan kegiatan untuk mengidentifikasi besarnya konsumsi energi dan besarnya energi yang digunakan pada bagian-bagian operasionalnya, serta mencoba

mengidentifikasi kemungkinan penghematan energi. Oleh karena itu, diperlukan suatu prosedur pencatatan penggunaan energi secara sistematis dan berkesinambungan [2].

Di masa pandemi Covid-19, pemerintah Provinsi Bali berupaya mendatangkan wisatawan nusantara dengan menyiapkan sarana dan prasarana penunjang pariwisata seperti menyediakan Hotel kelas melati hingga bintang 3. Hotel Gatsu Indah Denpasar, sebagai Hotel yang telah berdiri semenjak tahun 1980 an adalah Hotel kelas melati yang tetap eksis meskipun di tengah situasi pandemi. Hal ini dikarenakan pasarnya tidak berubah yakni wisatawan nusantara. Namun seiring waktu terjadi peningkatan tarif dasar listrik serta 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 maupun menaikkan tarif jasa sewa kamar kepada tamu yang menginap.

## 2. Dasar Teori

### 2.1. Audit Energi

Audit energi secara sederhana dapat didefinisikan sebagai sebuah proses untuk mengevaluasi di mana sebuah bangunan atau pabrik yang menggunakan energi, dan mengidentifikasi peluang untuk mengurangi konsumsi [3]. Berbagai pendekatan standart telah dikembangkan untuk menolong suatu perusahaan dalam mengevaluasi efisiensi energi, mengidentifikasi peluang penghematan energi serta menetapkan rencana untuk proyek-proyek guna menghemat energy.

Salah satu pendekatan tersebut adalah audit energi yang juga sering disebut *survey energy*. Audit energi (*energy audit*) adalah nama populer untuk *heat balance* atau *energy balance* yang digunakan para *engineer* beberapa tahun lalu. Ini merupakan survei teknis yang berguna dalam mengidentifikasi peluang penghematan energi dan memungkinkan potensi ini diimplimentasikan pada proyek-proyek konservasi energi. Biasanya audit energi dikerjakan dalam dua tingkat, yakni: Audit energi awal (*preliminary*) dan Audit energi rinci (*detailed*) [4].

### 2.2. Intensitas Konsumsi Energi

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. Bila nilai IKE hasil perhitungan telah dibandingkan dengan target IKE dan hasilnya ternyata sama atau kurang dari target IKE, maka kegiatan audit selanjutnya dapat dihentikan atau diteruskan dengan harapan diperoleh nilai IKE yang lebih rendah lagi. Nilai IKE dapat dicari menggunakan rumus berikut [5].

$$IKE = \frac{\text{total konsumsi energi (kWh)}}{\text{luas lantai total (m}^2\text{)}} \quad (1)$$

### 2.3. 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 [6]:

$$OTTV = \frac{\text{beban pendingin (Watt)}}{\text{luas lantai (m}^2\text{)}} \quad (2)$$

### 2.4. Hambatan termal

$$R_{tot} = r_1 + r_2 + r_3 + \dots r_n \quad (3)$$

Koefisien perpindahan panas pada dinding:

$$U = \frac{1}{R_{tot}} \quad (4)$$

### 2.4. 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, yaitu beban kalor yang masuk dari luar ruangan ke dalam ruangan (beban eksternal) serta beban kalor yang bersumber dari dalam ruangan itu sendiri (beban internal).

## 3. Metode Penelitian

### 3.1. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari 2021- April 2021. Lokasi penelitian ini bertempat di Hotel Gatsu Indah, Kota Denpasar, Bali

### 3.2. Metode Pengambilan Data

- Mengambil data beban terpasang pada gedung. Data beban terpasang pada gedung adalah data berupa alat yang mengonsumsi energi listrik, waktu lama penggunaan energi listrik tiap alat, dan spesifikasi alat yang menggunakan energi listrik.
- mengambil data daya listrik dan tagihan biaya dalam kurun waktu 5 tahun terakhir.
- Mencari data material penyusun bangunan Hotel.
- Mencari data bentuk, luasan dan volume Hotel.
- Menentukan data kondisi Hotel yang meliputi: temperatur lingkungan di sekitar bangunan dan di dalam bangunan.

### 3.3. Variabel Penelitian dan Teknik Analisis Data

Variabel yang digunakan yaitu luas permukaan ruangan Hotel, material penyusun bangunan, luas kaca jendela, temperatur lingkungan disekitar Hotel, jumlah orang di kamar Hotel, jumlah peralatan elektronik di Hotel, infiltrasi, jumlah kapasitas lampu yang digunakan.

Setelah mendapatkan data yang diperlukan, maka dilanjutkan dengan pengolahan data, yaitu menghitung beban pendinginan, menghitung nilai OTTV dan menghitung nilai IKE.

Setelah mendapatkan nilai OTTV dan nilai IKE, maka akan melakukan perbandingan antara nilai standar IKE yaitu  $12.08 KWh/m^2/bulan$  pada gedung komersial dan nilai OTTV yang di atur oleh SNI 03-6389-2011 dengan maksimum sebesar  $35 W/m^2$ . Selanjutnya melakukan rekomendasi peluang penghematan energi pada manajemen Hotel.

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1. Data

Penelitian ini berlangsung mulai tanggal 10 Februari hingga 27 Februari 2021. Objek pengumpulan data dan pengamatan adalah Hotel

Gatsu Indah yang berlokasi di JL. Gatot Subroto Barat no. 309, Pemecutan Kaja, Kec Denpasar Utara, Bali. Hotel Gatsu Indah terdiri dari 3 lantai, memiliki 40 kamar



Gambar 1 Hotel Gatsu Indah Denpasar

Pengumpulan data adalah langkah awal dari penelitian ini. Pengumpulan data dilaksanakan dengan melakukan peninjauan langsung ke lokasi objek penelitian dan melakukan tanya jawab dengan pengelola Hotel yang berada di lokasi. Data-data yang dikumpulkan berupa material penyusun bangunan, luasan kamar Hotel, temperatur lingkungan dan kamar, beban terpasang pada gedung. Berikut beberapa data yang disajikan pada Tabel 1 di bawah.

Tabel 1. Data Hotel Gatsu Indah

No	Lantai	Temperatur kamar rata-rata (°C)	Luas lantai rata-rata (m <sup>2</sup> )	luas atap rata-rata (m <sup>2</sup> )	Luas dinding rata-rata (m <sup>2</sup> )			
					U	T	S	B
1	Basement	29.17	20.48	20.48	16	5.5	16	5.5
2	lantai 1	29.78	20.48	20.48	16	5.63	16	5.4
3	lantai 2	30.16	20.48	20.48	16	5.63	16	5.4

Temperatur diluar bangunan Hotel adalah 37 °C, masing-masing kamar Hotel memiliki fasilitas yang sama yaitu 1 buah AC split dengan kapasitas 1 PK, 1 buah TV Tabung dengan kapasitas 68 watt, dan 1 buah kipas angin dengan kapasitas 34 watt.

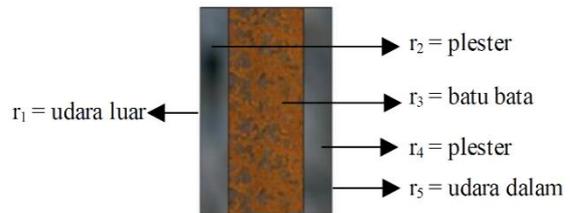
### Perhitungan Beban Pendingin dan OTTV

Berdasarkan data yang telah diperoleh, dilakukan perhitungan untuk mengetahui besarnya beban pendinginan rata-rata kamar Hotel per lantai agar dapat mengetahui nilai OTTV. Untuk sampel yang pertama dipakai kamar Hotel pada basemant dengan orientasi bangunan menghadap ke utara.

#### a. Kondisi dinding sebelah utara

- Luasan rata-rata dinding kamar sebelah utara (A) = 16 m<sup>2</sup> = 172.223 ft<sup>2</sup>.
- Lapisan udara luar (r1)
- Plester, butiran pasir dan semen setebal 16 mm (r2)
- Batu bata setebal 90 mm (r3)

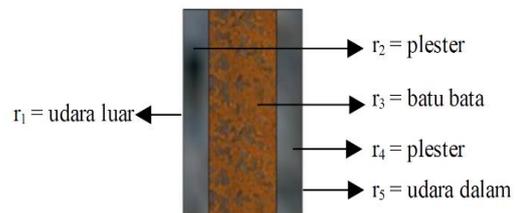
- Plester, butiran pasir dan semen setebal 16 mm (r4)
- Lapisan udara dalam (r5)



Gambar 2 Hambatan termal pada dinding sebelah utara

#### b. Kondisi dinding sebelah timur

- Luasan rata-rata dinding kamar sebelah timur (A) = 5.5 m<sup>2</sup> = 59.20 ft<sup>2</sup>

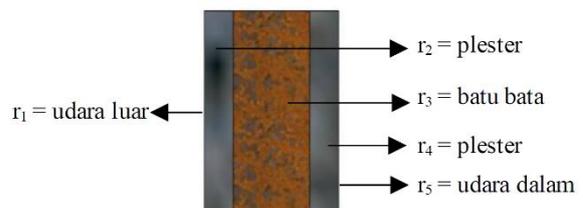


Gambar 3 Hambatan termal pada dinding sebelah timur

- Lapisan udara luar (r1)
- Plester, butiran pasir dan semen setebal 16 mm (r2)
- Batu bata setebal 90 mm (r3)
- Plester, butiran pasir dan semen setebal 16 mm (r4)
- Lapisan udara dalam (r5)

#### c. Kondisi dinding sebelah selatan

- Luasan rata-rata dinding kamar sebelah selatan (A) = 16 m<sup>2</sup> = 172.223 ft<sup>2</sup>

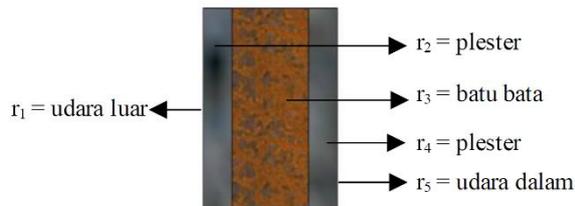


Gambar 4 Hambatan termal pada dinding sebelah selatan

- Lapisan udara luar (r1)
- Plester, butiran pasir dan semen setebal 16 mm (r2)
- Batu bata setebal 90 mm (r3)
- Plester, butiran pasir dan semen setebal 16 mm (r4)
- Lapisan udara dalam (r5)

#### d. Kondisi dinding sebelah barat

- Luasan rata-rata dinding kamar sebelah barat (A) = 5.5 m<sup>2</sup> = 59.20 ft<sup>2</sup>

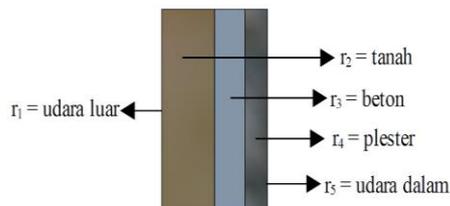


**Gambar 5 Hambatan termal pada dinding sebelah barat**

- Lapisan udara luar ( $r_1$ )
- Plester, butiran pasir dan semen setebal 16 mm ( $r_2$ )
- Batu bata setebal 90 mm ( $r_3$ )
- Plester, butiran pasir dan semen setebal 16 mm ( $r_4$ )
- Lapisan udara dalam ( $r_5$ )

e. Kondisi lantai

- Luasan rata-rata lantai kamar ( $A$ ) =  $20.48 \text{ m}^2 = 220.444 \text{ ft}^2$

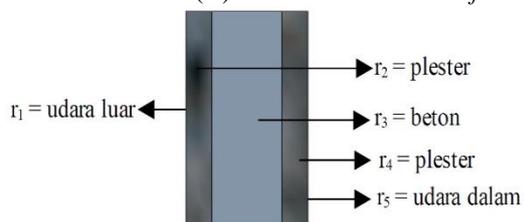


**Gambar 6 Hambatan termal pada lantai**

- Lapisan udara luar ( $r_1$ )
- Tanah ( $r_2$ )
- Beton, butiran pasir dan kerikil setebal 434 mm ( $r_3$ )
- Plester, butiran pasir dan semen setebal 16 mm ( $r_4$ )
- Lapisan udara dalam ( $r_5$ )

f. Kondisi langit-langit

- Luasan rata-rata langit-langit kamar Hotel ( $A$ ) =  $20.48 \text{ m}^2 = 220.444 \text{ ft}^2$



**Gambar 7 Hambatan termal pada langit-langit**

- Lapisan udara luar ( $r_1$ )
- Plester, butiran pasir dan semen setebal 16 mm ( $r_2$ )
- Beton, butiran pasir dan kerikil setebal 268 mm ( $r_3$ )
- Plester, butiran pasir dan semen setebal 16 mm ( $r_4$ )

**Tabel 2 Hambatan termal beberapa material**

No.	Nama material	Hambatan termal ( $r$ ) ( $\text{hr } ^\circ\text{Fft}^2/\text{Btu}$ )
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

Temperatur rata-rata didalam bangunan lantai basemant adalah  $29.17 \text{ }^\circ\text{C} = 84.506 \text{ }^\circ\text{F}$  dan temperatur di luar bangunan sebesar  $37 \text{ }^\circ\text{C} = 98.6 \text{ }^\circ\text{F}$ . Temperatur luar dari lantai  $30.166 \text{ }^\circ\text{C} = 86.29 \text{ }^\circ\text{F}$  dan temperatur luar dari langit-langit  $29.786 \text{ }^\circ\text{C} = 85.614 \text{ }^\circ\text{F}$ , sehingga perbedaan temperatur untuk dinding ( $\Delta T$ ) =  $98.6 \text{ }^\circ\text{F} - 84.506 \text{ }^\circ\text{F} = 14.049 \text{ }^\circ\text{F}$ , perbedaan temperatur untuk lantai ( $\Delta T$ ) =  $86.29 \text{ }^\circ\text{F} - 84.506 \text{ }^\circ\text{F} = 1.784 \text{ }^\circ\text{F}$  dan perbedaan temperatur untuk langit-langit ( $\Delta T$ ) =  $85.614 \text{ }^\circ\text{F} - 84.506 \text{ }^\circ\text{F} = 1.108 \text{ }^\circ\text{F}$ .

**Tabel 3. Beban Pendinginan Kamar Hotel lantai Basemant**

No	Lokasi Tinjauan	Beban pendinginan ( $Q$ ) Btu/hr	Beban Pendinginan ( $Q$ ) Watt
1	Dinding utara	1224.1386	358.759
2	Dinding timur	430.821	126.2069
3	Dinding selatan	1224.1389	358.759
4	Dinding barat	430.821	126.2069
5	Lantai	28.0796	8.2293
6	Langit-langit	348.0101	102
7	Kaca jendela	107.4581	31.4428
8	Infiltrasi sensible	49.9671	14.9671
9	Penghuni sensible	88.2	25.848
10	Penghuni laten	310	90.852
11	Lampu	37.68	11.042
12	Peralatan elektronik	13.056	3.827
	<b>Total</b>	<b>4292.3707</b>	<b>1258.1868</b>

- a. Nilai OTTV kamar Hotel lantai basemant  
 $OTTV = 61.43 \text{ W/m}^2$

Dilakukan penghitungan dengan cara yang sama untuk beban pendinginan dan OTTV kamar Hotel lantai 1 dan lantai 2. Berikut nilai beban pendinginan kamar Hotel lantai 1 dan lantai 2, disajikan dalam Tabel 4 dan Tabel 5 berikut.

**Tabel 4. beban pendinginan kamar Hotel lantai 1**

No	Lokasi Tinjauan	Beban pendinginan (Q) Btu/hr	Beban Pendinginan (Q) Watt
1	Dinding utara	1159.5712	339.8377
2	Dinding timur	407.9548	119.5597
3	Dinding selatan	1159.5712	339.8377
4	Dinding barat	389.1189	114.0394
5	Lantai	210.753	61.7656
6	Langit-langit	215.15	63.0542
7	Kaca jendela	99.4039	29.1324
8	Infiltrasi sensible	44.914	13.1629
9	Penghuni sensible	88.2	25.848
10	Penghuni laten	310	90.852
11	Lampu	37.68	11.042
12	Peralatan elektronik	13.056	3.827
	<b>Total</b>	<b>4135.373</b>	<b>1211.9586</b>

b. Nilai OTTV kamar Hotel lantai 1  
 $OTTV = 59.17 \text{ W/m}^2$

**Tabel 5. Beban Pendinginan Kamar Hotel Lantai 2**

No	Lokasi Tinjauan	Beban pendinginan (Q) Btu/hr	Beban Pendinginan (Q) Watt
1	Dinding utara	1094.48	321.6396
2	Dinding timur	433.1361	126.9396
3	Dinding selatan	1097.48	321.9396
4	Dinding barat	413.1375	126.9396
5	Lantai	354.9955	104.0389
6	Langit-langit	92.97	27.24681
7	Kaca jendela	92.78	27.19113
8	Infiltrasi sensible	49.914	14.9671

9	Penghuni sensible	88.2	25.848
10	Penghuni laten	310	90.852
11	Lampu	37.68	11.042
12	Peralatan elektronik	13.056	3.827
	<b>Total</b>	<b>4080.8291</b>	<b>1202.17134</b>

c. Nilai OTTV kamar Hotel lantai 2  
 $OTTV = 58.69 \text{ W/m}^2$

Berdasarkan data konsumsi energi listrik per bulannya dan data luasan bangunan. Dapat dihitung besarnya nilai IKE Hotel Gatsu Indah selama satu tahun dengan periode bulan Januari 2019 sampai dengan bulan Desember 2019. Nilai IKE Hotel Gatsu Indah periode tahun 2019 disajikan pada Tabel 6.

**Tabel 6. Nilai IKE Hotel Gatsu Indah di tahun 2019**

No	Bulan	Total konsumsi energi (Kwh/bulan)	IKE (Kwh/m <sup>2</sup> /bulan)
1	Januari	3440.63	8.90
2	Februari	3242.74	8.39
3	Maret	2812.01	7.27
4	April	3192.92	8.26
5	Mei	3728.78	9.64
6	Juni	2925.47	7.57
7	Juli	2966.91	7.67
8	Agustus	3937.71	10.19
9	September	3327.83	8.60
10	Oktober	3460.04	8.95
11	November	3704.15	9.58
12	Desember	3938.43	10.19
	<b>Rata-rata</b>	<b>3390.95</b>	<b>8.76</b>

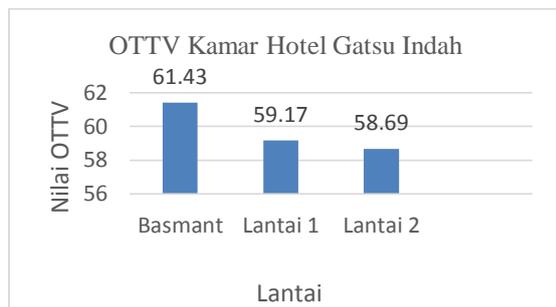
#### 4.2. Pembahasan

Total beban pendinginan rata-rata kamar Hotel Gatsu Indah lantai Basemant adalah 1258,18 Watt, lantai 1 adalah 1221,95 W, dan untuk lantai 2 adalah 1202,17 Watt. Beban pendinginan terbesar terjadi di lantai basemant, hal ini disebabkan oleh selisih temperatur lingkungan dengan temperatur ruangan lebih besar dari selisih temperatur lantai 1 dan lantai 2.

Nilai OTTV yang dihasilkan dari kamar Hotel Gatsu indah lantai Basemant adalah 61.43 W/m<sup>2</sup>, lantai 1 adalah 59.17 W/m<sup>2</sup>, dan lantai 2 adalah 58.69 W/m<sup>2</sup>. Selengkapnya disajikan dalam gambar berikut.

Nilai ini cukup besar jika dibandingkan dengan standar yang telah ditetapkan oleh SNI 03-6389-2011 yaitu sebesar 35 W/m<sup>2</sup>, 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.



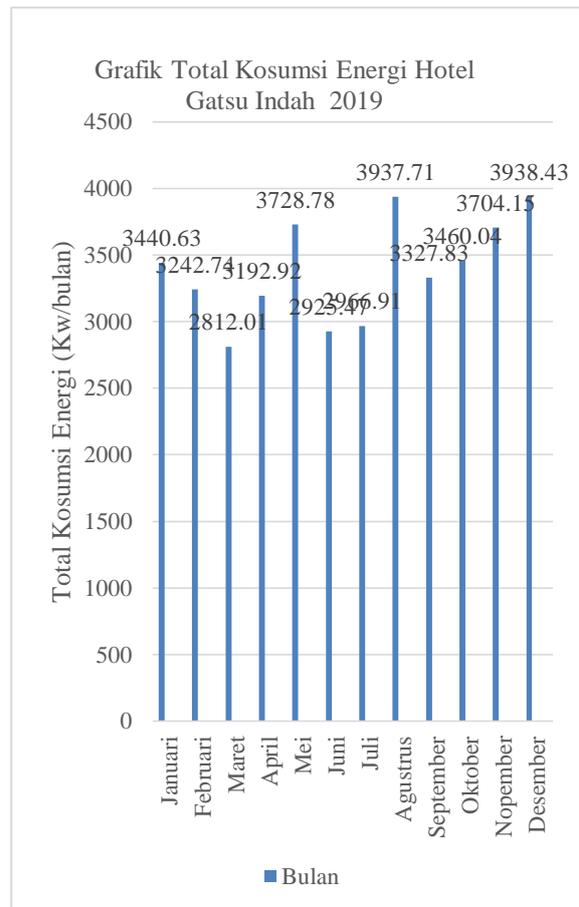
**Gambar 8. OTTV Kamar Hotel Gatsu Indah**

Nilai OTTV lebih besar dari 35 w/m<sup>2</sup> dengan luas kamar 20.4 m<sup>2</sup> seharusnya memerlukan AC 2.298 watt atau setara dengan AC 3 PK sedangkan AC yang di gunakan di Hotel Gatsu Indah rata-rata 1 PK = 746 watt. Sehingga yang terjadi adalah penghematan kosumsi energi listrik. Penghematan dalam 1 hari adalah 15.52 kWh dalam per bulan adalah 465.6 kWh jika dirupiahkan sebesar Rp 672.652 per bualannya.

Berdasarkan Tabel 6 penggunaan energi listrik dan nilai IKE yang didapat dengan luas bangunan 386,4 m<sup>2</sup> dengan tarif dasar listrik golongan B2 yaitu 1444.70 Rp/kWh. Penggunaan listrik tertinggi sepanjang tahun 2019 adalah pada bulan Desember sebesar 3938.43 kWh dengan nilai IKE sebesar 10.21 kWh/m<sup>2</sup>/bulan, dan penggunaan listrik terendah serta nilai IKE terendah pada bulan Maret sebesar 2812.01 kWh dengan nilai IKE sebesar 7.27 kWh/m<sup>2</sup>/bulan

Besarnya atau kecilnya konsumsi energi listrik per bulannya tergantung pada tingkat okupansi Hotel itu sendiri, sehingga berdasarkan data tingkat okupansi Hotel pada bulan Agustus - Desember cukup tinggi dibandingkan dengan bulan yang lain. Selengkapnya disajikan dalam Gambar 9 berikut:

Rata-rata nilai IKE sepanjang tahun 2019 adalah sebesar 8.76 kWh/m<sup>2</sup>/bulan, jika dibandingkan dengan gedung ber-AC, tingkat efisiensi bangunan Hotel Gatsu Indah termasuk kategori efisien karena berada di angka (7,92 – 12,08) kWh/m<sup>2</sup>/bulan. Kecilnya nilai IKE ini disebabkan oleh kurangnya okupansi yang datang untuk menginap di Hotel dan kurang tepatnya pemilihan kapasitas AC yang seharusnya menggunakan AC 3 PK tapi malah menggunakan AC 1 PK sehingga berpengaruh pada biaya tagihan listrik per bulannya yang membuat nilai IKE menjadi kecil (efisien). Untuk menjaga supaya peralatan elektronik tetap awet maupun tahan lama harus rutin melakukan perawatan pada peralatan elektronik yang besar mengkosumsi energi listrik supaya lebih tahan lebih lama.



**Gambar 9. Grafik konsumsi energi Hotel Gatsu Indah tahun 2019**

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, penulis dapat mengambil beberapa kesimpulan, sebagai berikut:

1. Beban pendinginan untuk kamar Hotel Gatsu Indah lantai basemant adalah 1258.18 Watt, lantai 1 adalah 1211.95 W, dan untuk lantai 2 adalah 1202.17 W. Nilai OTTV yang dihasilkan dari kamar Hotel Gatsu Indah lantai basemant adalah 61.43 W/m<sup>2</sup>, lantai 1 adalah 59.17 W/m<sup>2</sup>, dan lantai 2 adalah 58.69 W/m<sup>2</sup>. Nilai ini cukup besar jika dibandingkan dengan standar yang telah di tetapkan oleh SNI 03-6389-2011 yaitu sebesar 35 W/m<sup>2</sup>
2. Rata-rata nilai IKE Hotel Gatsu Indah sepanjang tahun 2019 adalah sebesar 8,76 kWh/m<sup>2</sup>/bulan. jika dibandingkan dengan gedung ber-AC, tingkat efisiensi bangunan Hotel Gatsu indah termasuk kategori efisien karena tidak melebihi angka 12.08 kWh/m<sup>2</sup>/bulan.

## Daftar Pustaka

- [1] Biantoro, A. & Permana, D., 2017, *Analisis Audit Energi untuk Pencapaian Efisiensi Energi di Gedung AB, Kabupaten*

*Tangerang, Banten*, Jurnal Teknik Mesin (JTM), Volume 6, pp. 85-93.

- [2] Wahid, A., 2014, *Analisis Kapasitas dan Kebutuhan Daya Listrik untuk Menghemat Penggunaan Energi Listrik di Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura*, Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura.
- [3] Thuman, a. & Wiliam, Y., 2003, *Handbook of Energi Audit*, sixth edition Georgia the faimont press.
- [4] Ramadhani, S., 2010, *Analisa Konservasi Energy Listrik Pada Industri Tekstil*, Skripsi, Universitas Indonesia.
- [5] 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*, Skripsi, Universitas Brawijaya Malang.
- [6] 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



**Gusti Ngurah Made Galang Bintang Pamungkas**  
menyelesaikan pendidikan di SMK Negri 1 Denpasar, pada tahun 2017, kemudian melanjutkan program sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana pada 2017, dan menyelesaikannya pada tahun 2021.

Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan audit energi dan manajemen energi.

# Kekuatan Lentur Dan Serapan Air Komposit Polyester Berpenguat Serat Bambu Tabah

Gde Made Erbin Nurhaidi, Tjokorda Gde Tirta Nindhia, I Wayan Surata  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

Komposit merupakan suatu material yang terbentuk dari kombinasi material pembentukannya melalui campuran yang tidak homogen, dimana sifat mekanik dari masing masing pembentukannya berbeda. Dalam hal ini dilakukan penelitian dan pembuatan komposit berpenguat serat alam yang diharapkan mampu bersaing dengan serat kaca. Akan tetapi, tidak kehilangan karakteristik dan kekuatan mekanis yang dimiliki. Penelitian ini menggunakan serat bambu tabah (*Gigantochloa nigrociliata* Buse-Kurz) yang diekstraksi dengan metode water retting dan menggunakan matriks polyester jenis Yukalac 157 BQTN dengan penambahan katalis MEKPO 1%. Serat bambu tabah direndam dengan NaOH sebesar 5% selama 2 jam. Selanjutnya dilakukan pencetakan komposit menggunakan teknik hand lay-up dengan variasi fraksi berat serat 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% orientasi serat acak dengan panjang serat 3 cm. Pemotongan komposit sesuai dengan standar ASTM D790-03 untuk uji lentur dan ASTM D570-98 untuk uji serapan air. Hasil penelitian dari komposit berpenguat serat bambu tabah didapat, kekuatan lentur komposit tertinggi 90,99 MPa terjadi pada fraksi berat serat 0% dan menurun 39,88 MPa pada fraksi berat serat 5% kemudian meningkat seiring bertambahnya fraksi berat serat 10%, dan 15% dan puncaknya pada fraksi berat serat 20% dengan nilai kekuatan lentur sebesar 74,57 MPa. Sedangkan untuk serapan air perendaman selama 96 jam merupakan titik penyerapan air tertinggi dengan fraksi berat serat 20%.

Kata kunci: Kekuatan lentur, serapan air, komposit polyester, bambu tabah.

## Abstract

Composite is a material that is formed from a combination of two or more forming materials through an inhomogeneous mixture, where the mechanical properties of each formation are different. In this case, research and manufacture of natural fiber reinforced composites is carried out which is expected to be able to compete with glass fiber. However, it does not lose its mechanical characteristics and strength. This study used tough bamboo fiber (*Gigantochloa nigrociliata* Buse-Kurz) which was extracted by water retting method and used a Yukalac 157 BQTN polyester matrix with the addition of 1% MEKPO as a catalyst. The tough bamboo fiber was soaked in 5% NaOH for 2 hours. Subsequently, composite printing was performed using the hand lay-up technique with variations in fiber weight fraction of 0%, 5%, 10%, 15%, and 20% random fiber orientation with a fiber length of 3 cm. Composite cutting conforms to ASTM D790-03 standards for flexural tests and ASTM D570-98 for water absorption test. The results of the steadfast bamboo fiber-reinforced composite were obtained, the highest flexural strength of the composite was 90.99 MPa occurred at 0% fiber weight fraction and decreased 39.88 MPa at 5% fiber weight fraction and then increased with increasing fiber weight fraction 10%, and 15%, and the peak was at 20% fiber weight fraction with a flexural strength value of 74.57 MPa. As for the water absorption, soaking for 96 hours is the highest water absorption point with a fiber weight fraction of 20%.

Keywords: Flexural strength, water absorption, polyester composites, tabah bamboo.

## 1. Pendahuluan

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi terus berkembang dengan pesat disemua bidang, seperti pada bidang konstruksi bangunan, konstruksi kendaraan, industri manufaktur dan bidang rekayasa material khususnya komposit. Komposit merupakan suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material melalui campuran yang tidak homogen, dimana sifat mekanik dari masing - masing berbeda [1]. Dari campuran serat dan matrik akan menghasilkan material komposit yang memiliki sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya.

Meningkatnya kebutuhan akan bahan material serat sintesis semakin bertambah sehingga

menimbulkan kelangkaan material yang tersedia di alam, serta penggunaan material untuk kebutuhan industri masih banyak mengandalkan bahan material serat kaca.

Penggunaan komposit dengan serat sintetik sangat banyak digunakan pada bidang otomotif dan merambah kerumah tangga. Akan tetapi penggunaan serat sintetik sebagai penguat komposit memiliki dampak negatif pada lingkungan, karena limbah serat sintetik tidak dapat terurai secara alami, membutuhkan waktu yang lama agar terurai serta biaya produksi yang mahal. Penggunaan serat alami merupakan langkah yang tepat, mengingat serat alami dapat terurai dengan alami, tidak membutuhkan waktu yang lama, serat alami dapat diperbaharui dan biaya produksi yang murah.

Berdasarkan uraian diatas, peneliti mencoba melakukan penelitian pembuatan komposit berpenguat serat bambu tabah (*Gigantochloa nigrociliata* Buse-Kurz) yang di ekstraksi dengan metode *water retting* dengan variasi fraksi berat serat : 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% dan diberi perlakuan 5% NaOH selama 2 jam, Serat digunakan sebagai material penguat dengan matrik polyester sebagai bahan pengikat. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kekuatan lentur dan serapan air komposit berpenguat serat bambu tabah dengan matrik polyester.

## 2. Dasar Teori

### 2.1. Komposit

Komposit adalah suatu sistem material yang terdiri atas kombinasi antara dua atau lebih bahan yang memiliki sejumlah sifat yang tidak sama serta tidak mungkin dimiliki oleh masing masing komponennya [2]. Unsur pembentuk komposit disebut penguat (*reinforcement*) berupa serat atau partikel dan pengisi (*matrik*). Matrik bertugas mengikat serat agar tetap pada posisinya dan menjaga serat dari pengaruh lingkungan luar.

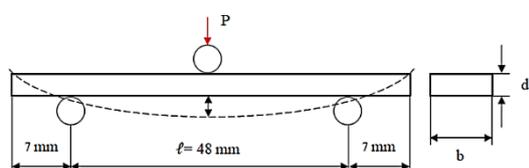
### 2.2. Bambu Tabah

Bambu tabah (*Gigantochloa nigrociliata* Buse-Kurz) memiliki diameter 3-6 cm tumbuh dengan baik di lahan kering dan lembap di area pegunungan sampai ketinggian 1500 m dpl. Bambu tabah umumnya ditanam di tepi aliran sungai, dan daerah-daerah curam. Batang bambu terdiri atas sekitar 50% parenkim, 40% serat dan 10% sel penghubung (pembuluh dan *sieve tubes* dengan serat lebih banyak ditemukan pada bagian luar [3].

### 2.3. Resin Polyester

Resin polyester merupakan salah satu jenis resin yang cair dengan memiliki ketahanan kimia serta mekanik yang baik ketika beroperasi pada kondisi lingkungan yang panas maupun basah dan memiliki pelekatan yang baik pada berbagai jenis penguat. Pada proses pencampuran resin polyester ini harus ditambahkan dengan suatu katalis berupa MEKPO (*Metil Etil Keton Peroksida*) yang berfungsi sebagai media untuk mempercepat pengerasan cairan resin tersebut. Resin polyester terdapat 2 jenis yaitu polyester jenuh (*Saturated Polyester*), polyester ini tidak mudah mengalami pengerasan (*curing*) dan polyester tidak jenuh (*Unsaturated Polyester*).

### 2.4. Uji Lentur



### Gambar 1. Spesimen Uji Lentur

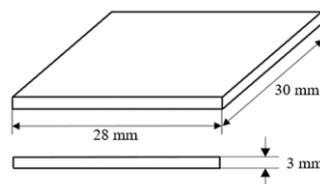
Uji ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan terhadap bending atau pembengkokan. Spesimen yang diuji akan mengalami tegangan tekan pada bagian atas dan tegangan tarik pada bagian bawahnya yang akan didapat beban oleh benda uji sebelum terjadi patahan.

Persamaan:

$$\sigma_b = \frac{3P\ell}{2bd^2}, E = \frac{\ell^3 m}{4bd^3}, r = \frac{6\delta d}{\ell^2} \quad (1)$$

### 2.5. Uji Serapan Air

Uji serapan air merupakan pengujian yang bertujuan untuk mengetahui kemampuan komposit dalam menyerap uap air dalam waktu tertentu. Spesimen komposit polyester akan menyerap air jika berada di udara lembab atau ketika dicelupkan di dalam air dalam waktu tertentu.



Gambar 2. Spesimen Uji Serapan Air

Persamaan:

$$W_A = \frac{W_t - W_o}{W_o} \times 100\% \quad (2)$$

## 3. Metode Penelitian

### 3.1. Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah mesin uji lentur, timbangan, mikroskop, cetakan komposit, oven, gelas ukur, timbangan digital, jarum suntik, lap kain, sarung tangan, gunting, kuas, tissue, masker, baskom.

Bahan: Resin Polyester Yukalac 157 BQTN, serat bambu tabah, katalis MEKPO, gliserin, NaOH.

### 3.2. Range Pengujian

Fraksi berat serat bambu tabah yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah 0%, 5%, 10, 15%, dan 20% serat bambu tabah.

### 3.3. Prosedur Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan serat bambu tabah terdapat prosedur penelitian sebagai berikut:

1. Siapkan bambu tabah yang sudah dibersihkan lalu potong bambu antara 20 sampai 30 cm (ambil diantara ruas, agar tidak mengandung ruas/soce). Lepaskan kulit luar, belah tipis-tipis kurang lebih 0,5 sampai 1 mm, lalu rendam menggunakan teknik *water retting* dalam wadah yang sudah disediakan berisi air selama 4 – 7 hari setelah itu pukul-pukul bambu menggunakan palu atau kayu dengan cara memegang ujungnya, lalu sikat dengan menggunakan sikat kawat agar serat bisa didapatkan.

- NaOH digunakan untuk menghilangkan lignin pada serat dengan kadar 5% selama 2 jam.
- Pemotongan serat yang sesuai dengan panjang yaitu 3 cm. Kekuatan tarik tertinggi pada komposit serat pisang/phenol diperoleh pada panjang serat 30 mm (Joseph dkk, 2002).
- Ukur resin *unsaturated polyester* jenis Yukalac 157 BQTN sesuai dengan volume komposit yang akan dicetak. Volume cetakan 187,5 cm<sup>3</sup> dan berat resin 225 gram.
- Campurkan resin polyester dengan 1% *hardener Metil Etil Ketone Peroxide* (MEKPO) ke dalam gelas ukur.
- Lapisi cetakan kaca dengan gliserin agar resin tidak melekat pada cetakan, ratakan dengan tisu untuk menipiskan lapisan gliserin.
- Campurkan polyester, hardener, dan serat bambu sesuai hitungan dituangkan pada cetakan kaca. Berat komposit (wc) tanpa serat sama dengan berat resin yaitu 225 gram. Karena menggunakan fraksi berat yang berarti berat komposit konstan.
- Cetakan ditutup dan diberikan beban pemberat sekitar 5 kg selama 24 jam.
- Keluarkan komposit dari cetakan dan masukan kedalam oven dengan temperatur 65 °C selama 4 jam.
- Potong spesimen sesuai dengan standar ASTM D 790-03 uji lentur dan ASTM D 570-98 untuk uji serapan air.

**Tabel 1. Komposisi Fraksi Berat Serat**

Fraksi Berat Serat (%)	Berat Resin (gram)	Berat Hardener (gram)	Berat Serat (gram)
0	225	1,875	0
5	213,75	1,781	11,25
10	202,5	1,687	22,5
15	191,25	1,593	33,75
20	180	1,50	45

### 3.4. Pengujian Komposit Uji Lentur

- Persiapkan mesin uji lentur dan spesimen uji lentur.
- Ukur spesimen untuk menentukan titik tumpuan dan titik tengah dengan memberikan garis sebagai tanda.
- Pemasangan spesimen uji.
- Putar *handle* sampai beban menyentuh spesimen dan *manometer indicator* menunjukkan angka 0.
- Catat hasil besar beban yang diberikan pada tiap putaran yang ditentukan.

### 3.5. Uji Serapan Air

- Menyiapkan spesimen uji.
- Menimbang spesimen uji sebelum perendaman dengan timbangan digital, pastikan spesimen dalam keadaan kering. Catat hasil timbangan spesimen ( $W_0$ ).

- Merendam spesimen uji posisi horizontal di bawah permukaan air selama 0 jam, 24 jam, 48 jam dan 96 jam.
- Mengangkat dan meniriskan spesimen uji setelah perendaman 0 jam, 24 jam, 48 jam dan 96 jam satu persatu selama kurang lebih 1 menit sambil mengelap spesimen menggunakan tisu sampai kering.
- Menimbang kembali spesimen uji yang telah direndam dan mencatat hasilnya ( $W_1$ ).

### 3.6. Tempat Penelitian

Pengujian komposit polyester dengan penguat serat bambu tabah pada penelitian ini dilakukan di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Udayana kampus Bukit Jimbaran.

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1. Hasil dan Perhitungan Uji Lentur

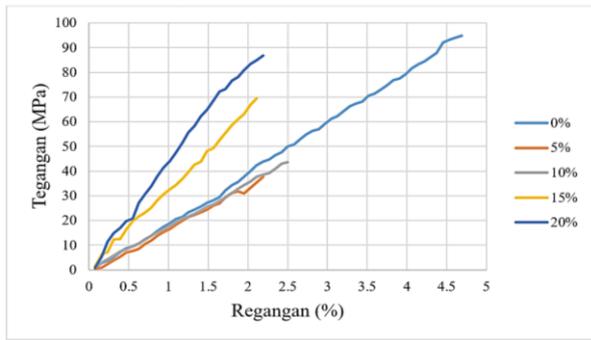
Setelah melakukan pengujian kekuatan lentur didapatkan hasil tegangan maksimum, regangan maksimum dan modulus elastisitas maksimum komposit polyester berpenguat serat bambu tabah yang ditampilkan pada Tabel 2.

**Tabel 2. Perhitungan Kekuatan Lentur**

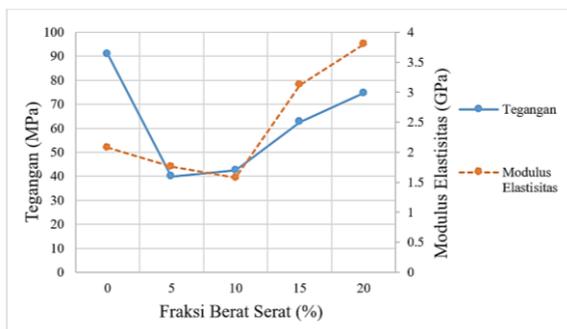
Pengujian Lentur Komposit			
Fraksi Berat Serat 0%			
Spesimen	$\sigma_L$ (MPa)	$\epsilon_L$ (%)	E (GPa)
A1	86.55	4.22	2.052
A2	91.67	4.22	2.173
A3	94.76	4.69	2.022
<b>Rata-rata</b>	<b>90.99</b>	<b>4.38</b>	<b>2.082</b>
Fraksi Berat Serat 5%			
Spesimen	$\sigma_L$ (MPa)	$\epsilon_L$ (%)	E (GPa)
E1	45.13	2.34	1.925
E2	37.59	2.19	1.719
E3	36.92	2.27	1.629
<b>Rata-rata</b>	<b>39.88</b>	<b>2.27</b>	<b>1.758</b>
Fraksi Berat Serat 10%			
Spesimen	$\sigma_L$ (MPa)	$\epsilon_L$ (%)	E (GPa)
J1	42.66	2.89	1.476
J2	41.36	2.73	1.513
J3	43.64	2.50	1.746
<b>Rata-rata</b>	<b>42.55</b>	<b>2.71</b>	<b>1.578</b>
Fraksi Berat Serat 15%			
Spesimen	$\sigma_L$ (MPa)	$\epsilon_L$ (%)	E (GPa)
O1	58.52	1.95	2.996
O2	69.33	2.11	3.287
O3	60.07	1.95	3.075
<b>Rata-rata</b>	<b>62.64</b>	<b>2.01</b>	<b>3.119</b>
Fraksi Berat Serat 20%			
Spesimen	$\sigma_L$ (MPa)	$\epsilon_L$ (%)	E (GPa)
T1	56.92	1.56	3.643
T2	80.01	2.11	3.793
T3	86.80	2.19	3.968
<b>Rata-rata</b>	<b>74.57</b>	<b>1.95</b>	<b>3.801</b>

Berdasarkan Tabel 2 dapat dibuat grafik hubungan antara kekuatan lentur, regangan lentur dan

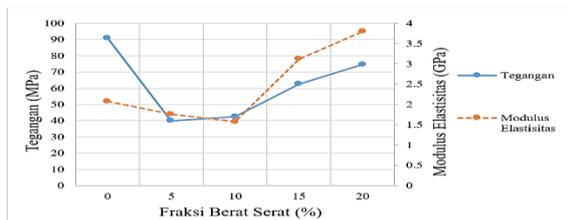
modulus elastisitas dengan variasi fraksi berat serat Gambar 4 sebagai berikut:



Gambar 3. Grafik Hubungan Tegangan Lentur dengan Regangan Lentur Komposit



Gambar 4. Grafik Pengaruh Fraksi Berat Serat Terhadap Tegangan Modulus Elastisitas



Gambar 5. Grafik Pengaruh Fraksi Berat Serat Terhadap Regangan Lentur

#### 4.2. Pembahasan Uji Lentur

Pada Tabel 2 menunjukkan kekuatan lentur tertinggi ada pada fraksi berat serat 0%, kemudian menurun pada fraksi berat 5% dan meningkat lagi seiring bertambahnya fraksi berat serat.

Pada Tabel 2 menunjukkan nilai rata-rata tertinggi kekuatan lentur komposit ada pada fraksi berat serat 0% dengan nilai sebesar 90,99 MPa dengan modulus elastisitas sebesar 2,082 GPa. Pada fraksi berat serat 5% kekuatan lentur menurun dengan nilai sebesar 39,88 MPa dan modulus elastisitas 1,758 GPa. Sedangkan pada fraksi berat serat 10% kekuatan lentur meningkat dengan nilai sebesar 42,55 MPa dan modulus elastisitas 1,578 GPa. Pada fraksi berat serat 15% meningkat lagi dengan nilai 62,64 MPa dan modulus elastisitas 3,119 GPa. Kemudian pada fraksi berat

serat 20% terus meningkat dengan nilai sebesar 74,57 MPa dan modulus elastisitas 3,801 GPa.

Pada Tabel 2 juga terlihat bahwa regangan pada fraksi berat serat 0% memiliki nilai regangan rata-rata tertinggi sebesar 4,38%. Pada fraksi berat serat 5% memiliki nilai rata-rata regangan sebesar 2,27%. Pada fraksi berat serat 10% nilai regangannya 2,71%. Kemudian nilai regangan rata-rata pada fraksi berat serat 15% sebesar 2,01% dan pada fraksi berat serat 20% regangan rata-ratanya sebesar 1,95%.

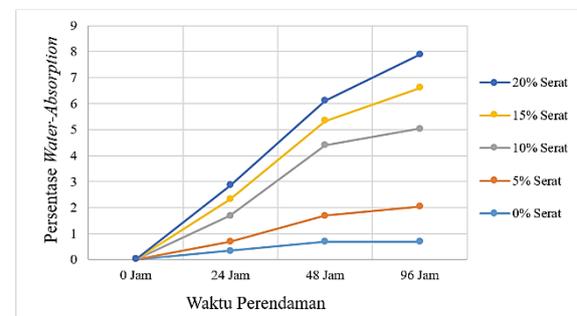
Dari pembahasan diatas, menurunnya kekuatan komposit diperkuat dibandingkan dengan matriks murni dikarenakan keselarasan antar serat dan void yang terdapat pada specimen [4]. Selain itu menurunnya kekuatan komposit diperkuat dibandingkan dengan matriks murni dikarenakan ikatan antara serat dan matriks tidak kuat, tetapi ketika ada penambahan fraksi berat antara serat dan matriks menyebabkan distribusi dan transfer beban yang dihasilkan meningkat seiring dengan kemampuan serat untuk mentransfer beban secara baik. Wirawan [4] berpendapat bahwa, hasil kekuatan lentur komposit diperkuat serat nanas dengan variasi fraksi berat serat 0%, 5%, 10%, 15%. Nilai lentur tertinggi terdapat pada fraksi berat serat 0% (matriks murni) sebesar 75,910 MPa, dan terendah pada fraksi berat serat 5% sebesar 50,106 MPa, kemudian meningkat pada fraksi berat serat 10% sebesar 52,133 MPa, dan meningkat lagi pada fraksi berat serat 15% sebesar 56,362 MPa [4].

#### 4.3. Hasil dan Perhitungan Uji Serapan Air

Setelah melakukan pengujian serapan air didapatkan hasil presentase *Water-Absorption* komposit polyester diperkuat serat bambu tabah. Data hasil ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Water-Absorption

NaOH 5%	W <sub>2</sub> (gram)										W <sub>1</sub> (gram)					W <sub>3</sub> (%)				
	Fraksi Volume					Fraksi Volume					Fraksi Volume									
	0%	5%	10%	15%	20%	0%	5%	10%	15%	20%	0%	5%	10%	15%	20%					
0 jam	2.87	2.93	2.95	3.13	3.79	2.87	2.93	2.95	3.13	3.79	0	0	0	0	0					
24 jam	2.87	2.94	2.97	3.20	3.85	2.88	2.95	3.00	3.22	3.87	0.35	2.34	1.01	0.63	0.52					
48 jam	2.90	2.95	2.98	3.21	3.87	2.92	2.98	3.06	3.24	3.90	0.69	1.02	2.68	0.93	0.78					
96 jam	2.89	2.96	3.00	3.23	3.90	2.81	3.00	3.09	3.28	3.95	0.69	1.35	3.00	1.53	1.28					



Gambar 6. Grafik Pengaruh Waktu Perendaman Terhadap Persentase Water-Absorption

Contoh perhitungan uji serapan air komposit diambil pada specimen fraksi berat serat 20% dengan lama perendaman 96 jam sebagai berikut:

$$W_A = \frac{W_t - W_o}{W_o} \times 100\%$$

$$W_A = \frac{3.95 - 3.90}{3.90} \times 100\%$$

$$W_A = 1,28\%$$

Berdasarkan Tabel 3 dapat dibuat grafik pengaruh waktu perendaman terhadap *water absorption* dengan variasi fraksi berat serat seperti gambar 6.

#### 4.4. Pembahasan Uji Serapan Air

Berdasarkan hasil penelitian didapat perbedaan berat spesimen sebelum dan setelah direndam dalam air tawar dengan lamanya perendaman selama 0, 24, 48 dan 96 jam seperti ditunjukkan pada Tabel 3. Dilihat dari Gambar 6 perendaman selama 96 jam merupakan titik penyerapan air tertinggi dengan fraksi berat serat 20%. Hal ini dibenarkan oleh Lokantara, dkk [5] yang mengatakan bahwa, Persentase *water-absorption* meningkat seiring bertambahnya waktu perendaman. Dapat dilihat juga bahwa perendaman selama 96 jam merupakan titik penyerapan air tertinggi.

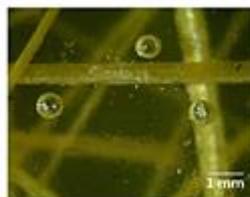
Pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa semakin besar persentase fraksi volume, persentase *water-absorption* semakin naik dan komposit tanpa serat memiliki persentase yang rendah jika dibandingkan dengan komposit dengan serat alami. Pada komposit tanpa serat, tidak ada ikatan antara matriks dengan seratnya. Jadi tidak terjadi penyerapan air yang mengakibatkan perubahan berat. Hal ini disebabkan karena salah satu karakteristik serat alami memiliki kemampuan menyerap air yang lebih besar dari polyester itu sendiri. Surdia, dkk [2] dalam hasil penelitiannya mengatakan bahwa komposit serat alam memiliki kemampuan menyerap air sebesar 11% - 12% komposit berpenguat serat alami dapat menyerap air lebih besar dibandingkan polyester. Semakin besar fraksi volume serat pada komposit menyebabkan peningkatan *water absorptoin*. Demikian pula ikatan matrik dengan serat membuat adanya celah yang membuat aliran air dapat masuk secara kapilarisasi.

#### 4.5. Pengamatan Foto Makro

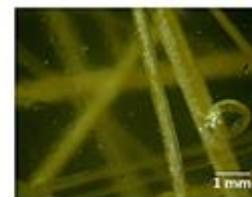
Sebelum melakukan pengujian komposit, dilakukan pengamatan void, selanjutnya setelah melakukan pengujian dilakukan pengamatan patahan secara visual pada spesimen uji lalu di lanjutkan dengan pengamatan spesimen serapan air. Void (kekosongan) yang terjadi pada spesimen sangatlah berbahaya, karena pada bagian tersebut fiber tidak didukung oleh matriks, sedangkan fiber selalu akan mentransfer tegangan ke matriks. Hal seperti ini menjadi penyebab munculnya *crack*, sehingga komposit akan gagal lebih awal [6].

#### 4.6. Void

Adapun hasil pengamatan void setiap spesimen uji sebagai berikut:



Gambar 7. Foto Makro Void Fraksi Berat Serat 5%



Gambar 8. Foto Makro Void Fraksi Berat Serat 10%



Gambar 9. Foto Makro Void Fraksi Berat Serat 15%



Gambar 10. Foto Makro Void Fraksi Berat Serat 20%

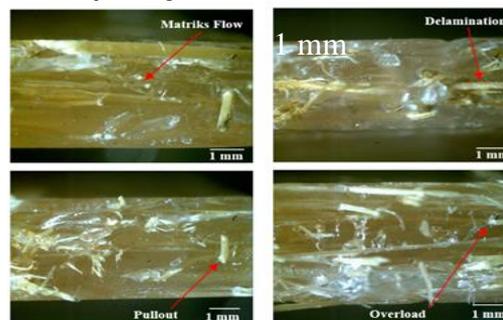
#### 4.7. Pembahasan Void

Pada Gambar 7 foto makro dengan fraksi berat serat 5% terdapat sebanyak 3 void dengan luas area sebesar 2,72%. Sedangkan pada Gambar 8 fraksi berat serat 10% terdapat sebanyak 1 void dengan luas area 2,35%. Kemudian pada Gambar 9 fraksi berat serat 15% terdapat 1 void dengan luas area sebanyak 1,01% dan pada fraksi berat serat 20% menunjukkan sebanyak 2 void dengan luas area sebesar 2,36% seperti yang terlihat pada Gambar 10.

Penyebab tingginya kekuatan lentur fraksi berat serat 20% dengan luas area void 2,36% dibandingkan dengan fraksi berat serat 15% dengan luas area void 1,01% dikarenakan, tebal komposit mempengaruhi kekuatan komposit itu sendiri [7]. Tegangan bending rata - rata tertinggi dimiliki oleh komposit dengan Vf 50% pada tebal 5mm sebesar 95,33 MPa dan terendah pada komposit dengan Vf 20% pada tebal 4mm sebesar 44,52 MPa [8].

#### 4.8. Patahan

Adapun hasil pengamatan patahan setiap spesimen uji sebagai berikut:



Gambar 11. Foto Makro Patahan Komposit

#### 4.9. Pembahasan Patahan

Pada Gambar 11 terlihat bahwa patahan spesimen dengan fraksi berat serat 5% terdapat *matriks flow* dengan orientasi sebesar 8,02%. Selain *matriks flow* terlihat juga *pullout* dan *overload* terlihat sedikit.

Hal tersebut dikarenakan kurangnya serat dan tidak tersebar merata. Selain itu ikatan matriks dan serat yang kurang baik maka terjadi *pullout* sehingga dapat mempengaruhi kemampuan menahan beban dari material [9]. Akan tetapi jumlah serat yang terdapat pada spesimen semakin meningkat seiring bertambahnya fraksi berat serat dan terikat secara baik dengan matriks sehingga beban yang diterima dapat terdistribusi ke semua bagian.

#### 4.10. Serapan Air

Adapun hasil pengamatan serapan air setiap spesimen uji sebagai berikut:



**Gambar 12. Foto Makro Fraksi Berat Serat 20% Perendaman 24 Jam**

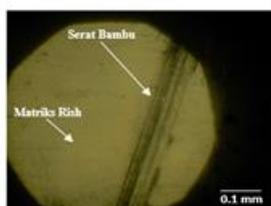


**Gambar 13 Foto Makro Fraksi Berat Serat 20% Perendaman 96 Jam**

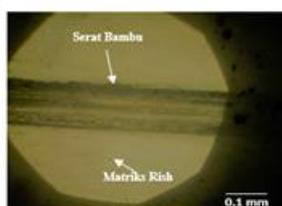
#### 4.11. Pembahasan Serapan Air

Foto Makro pada Gambar 12 komposit berat serat 20% dengan perendaman 24 jam dimana seratnya masih kasar dan ulet, dimana air yang diserap belum terlalu banyak dan ikatan serat dengan matriks masih cukup kuat. Sedangkan pada perendaman 96 jam (Gambar 13) penyerapan air yang terjadi pada serat sudah mencapai titik jenuh. Perendaman yang terlalu lama setelah mencapai titik jenuh mengakibatkan serat menjadi rusak dan berakibat ikatan matriks dengan seratnya menjadi kurang kuat [5].

#### 4.12. Hasil Foto Mikro



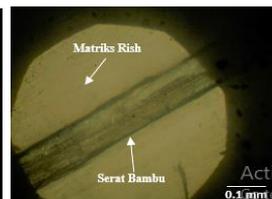
**Gambar 14. Foto Mikro Fraksi Berat Serat 5% Pembesaran 100x**



**Gambar 15. Foto Mikro Fraksi Berat Serat 10% Pembesaran 100x**



**Gambar 16. Foto Mikro Fraksi Berat Serat 15% Pembesaran 100x**



**Gambar 17. Foto Mikro Fraksi Berat Serat 20% Pembesaran 100x**

#### 5. Kesimpulan

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

1. Kekuatan lentur tertinggi terdapat pada komposit dengan fraksi berat serat 0% dengan nilai rata-rata tegangan lentur sebesar 90,99 MPa. Sedangkan tegangan lentur terendah terdapat pada komposit dengan fraksi berat serat 5% dengan nilai rata-rata tegangan lentur sebesar 39,88 MPa. Selanjutnya meningkat seiring bertambahnya fraksi berat serat dan pada fraksi berat serat 20% mencapai 74,57 MPa.
2. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa water-absorption pada polyester (tanpa serat) paling kecil dibandingkan dengan water-absorption yang terjadi pada komposit yang berpenguat serat bambu tabah. Semakin besar fraksi volume serat maka menyebabkan water-absorption meningkat pada komposit.

#### Daftar Pustaka

- [1] Mathew, F. L., & Rawling, R. D., 1994, *Composite Material*, Engineering and Science, London, Chapman and Hall,
- [2] Surdia, T., Saito, S., 1999, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Jakarta: Pradnya Paramita, hal 280.
- [3] Dransfield; E.A. Widjaya, 1995, *Plant Resources of South-East Asia no.7 Bamboos*, Bogor, Prosea, hal 189.
- [4] Wirawan, I.G.R.T., Surata, I.W., Nindhia, T.G.T., 2018, *Pengaruh Fraksi Berat Terhadap Kekuatan Tarik dan Lentur Komposit Polyester Serat Serabut Kelapa*, Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika, vol. 7 no. 2, hal 109-114, 2018.
- [5] Lokantara, Suardana, Gatot, 2009, *Efek Fraksi Volume Serat dan Penyerapan Air Tawar Terhadap Kekuatan Bending Komposit Tapis Kelapa/Polyester*, Cakram, vol.3 no. 2, hal 138-143.

- [6] M. M. Schwartz, 1984, *Composite Materials Handbook*. New York, McGraw-Hill Book Company.
- [7] Martinus, Kristomus, Jefri S., 2016 , *Pengaruh Panjang Serat dan Tebal Papan Komposit Polyester Berpenguat Serat Lontar dan Serat Gwang terhadap Kekuatan Bending*, LJTMU, vol. 3 no. 2, hal 21-30.
- [8] Fajar, S.N., 2008, *Optimasi Kekuatan Bending dan Impact Komposit Berpenguat Serat Ramie Bermatrik Polyester Bqtn 157 Terhadap Fraksi Volume Dan Tebal Skin*, Skripsi.
- [9] Suryawan, I.G.P.A., Suardana, N.P.G., Suarsana, I.K., Legawa. I.K.J., 2019, *Kekuatan Tarik dan Lentur Pada Material Komposit Berpenguat Serat Jelatang*, Jurnal Energi Manufaktur, vol. 12 no. 1, hal 7-12.

	<p><b>Gde Made Erbin Nurhaidi</b> menyelesaikan studi sarjana Teknik Mesin di Universitas Udayana, pada tahun 2017 sampai 2021. Ia menyelesaikan program studi sarjana dengan judul penelitian Kekuatan Lentur Dan Serapan Air Komposit Polyester Berpenguat Serat Bambu Tabah.</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan komposit, khususnya berpenguat dari serat alam.</p>	

# Laju Aliran Massa Fluida Pada Karbon Aktif Bambu Betung Dengan Variasi Temperatur Karbonisasi 400, 500, 600, 700, 800 Dan Temperatur Aktivasi 600°C

Rekki Proverbs Sitanggang, Hendra Wijaksana dan IGN. Priambadi  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

Seiring dengan perkembangan zaman dan terus bertambahnya jumlah penduduk, terdapat dampak pada perubahan sosial kehidupan masyarakat, salah satunya merupakan kenyamanan manusia didalam beraktivitas. Indonesia merupakan Negara beriklim tropis sehingga pemakaian pengkondisian udara sangat diperlukan, salah satunya Evaporative Air Cooler yang menggunakan prinsip kerja direct evaporative cooling, pengaruhnya pendinginan diberikan oleh proses penguapan yang air yang terjadi pada material pad yang basah. Material pad pada sistem direct evaporative cooling ini merupakan sebagai media pendingin yang berasal dari bahan bambu local yaitu bambu betung. Penelitian ini menggunakan arang karbon aktif sebagai material pad untuk mengetahui pengaruh laju aliran massa fluida pada sistem direct evaporative cooling. Dengan menggunakan temperatur karbonisasi 400, 500, 600, 700, 800 °C kemudian diaktivasi dengan temperatur 600 °C. Hasil dari seluruh pengujian menunjukan bahwa spesimen yang telah di karbonisasi dengan temperature 500 °C dan aktivasi 600 °C atau AKRB 500 memiliki karakteristik laju aliran massa tertinggi yakni sebesar  $13.6 \times 10^{-8}$  kg/s yang bisa dijadikan potensi pada pembuatan material pad baru pada sistem direct evaporative cooling

Kata kunci: Direct evaporative cooling, bambu betung, karbonisasi, aktivasi, Laju aliran massa fluida

## Abstract

Along with the times and the continued increase in population, there is an impact on social changes in people's lives, one of which is human comfort in activities. Indonesia is a tropical country so the use of air conditioning is very necessary, one of which is the Evaporative Air Cooler which uses the working principle of direct evaporative cooling, the cooling effect is given by the evaporation process of water that occurs in the wet pad material. The pad material in this direct evaporative cooling system is a cooling medium derived from local bamboo, namely bamboo betung. This study uses activated carbon charcoal as a pad material to determine the effect of the mass flow rate of the fluid on the direct evaporative cooling system. By using a carbonization temperature of 400, 500, 600, 700, 800 °C and then activated at a temperature of 600°C. The results of all tests show that the specimen that has been carbonized with a temperature of 500 °C and activation of 600°C or AKRB 500 has the highest mass flow rate characteristic of  $13.6 \times 10^{-8}$  kg/s which can be used as potential for the manufacture of new pad materials in the direct system. evaporative cooling

Keywords: Direct evaporative cooling, bamboo betung, carbonization, activation, The mass flow rate of the fluid

## 1. Pendahuluan

Perkembangan zaman berpengaruh pada terus bertambahnya jumlah penduduk dan akan berdampak pada perubahan sosial kehidupan masyarakat, kenyamanan melakukan aktivitas merupakan salah satu bentuk kebutuhan hampir seluruh manusia pada zaman ini.

Terdapat dua sistem pengkondisian udara yang banyak digunakan yaitu Air Conditioning dan sistem Evaporative Air Cooler. Penggunaan sistem AC yang berlebihan akan meningkatkan pemanasan global karena menghasilkan CFC (chlorofluorocarbon) atau yang biasa kita sebut dengan freon yang dapat mengakibatkan rusaknya lapisan ozon dan pemanasan global yang juga berdampak terhadap perubahan iklim seperti mencairnya es di kutub. Bahkan International Energy Agency (IEA) mengatakan penggunaan AC merupakan akan menjadi pemacu terbesar kenaikan permintaan energi global, setelah kegiatan industri.

Dalam penggunaan AC yang memiliki kebutuhan listrik lebih besar, sebaliknya

Evaporative Air Cooler lebih ramah lingkungan karena menggunakan air sebagai cairan pendingin, mudah perawatannya dan penggunaan daya listrik yang jauh lebih rendah karena hanya menggunakan mechanical fan, cooling pad dan pompa air. Evaporative Air Cooler menggunakan prinsip Evaporative Cooling, yaitu sistem pengkondisian udara yang menggunakan penguapan air untuk mendinginkan dan meningkatkan kadar air atau kelembapan pada aliran udara, sehingga membuat temperatur bola kering lebih rendah dari sebelum dilakukan proses evaporasi.

Secara umum ada terdapat dua jenis evaporative cooling, yaitu direct evaporative cooling dan indirect evaporative Cooling. Perbedaan dasarnya adalah pada udara keluaran direct evaporative cooling (DEC) kelembapannya udara keluarannya meningkat, sedangkan pada indirect evaporative cooling (IEC) kelembapannya konstan karena air pendinginnya tidak berkontak langsung dengan udara [1].

Cooling pad merupakan bagian yang berfungsi sebagai media pendingin jadi dalam sistem ini

dibutuhkan material pad yang berpori serta memiliki daya serap air yang tinggi dan kemampuan untuk memastikan proses penguapan pada permukaan material pad.

Pengembangan pada material pad banyak dilakukan untuk meningkatkan kinerja thermal maupun kinerja kapiler *direct evaporative cooling*. Pada penelitian ini material pad yang digunakan merupakan material alami yang memiliki serat penguat yang dapat diperbaharui untuk pembuatan komposit yaitu bambu, yang dikarbonisasi dan diaktivasi karbon sehingga menjadi arang karbon aktif.

Dalam meningkatkan kinerja kapiler terdapat beberapa nilai hal yang mempengaruhi yaitu kapilaritas, permeabilitas, dan *wettability*, sementara dalam peningkatan kinerja *thermal* beberapa hal yang mempengaruhinya yaitu, laju perpindahan panas dan laju aliran massa udara dan juga laju aliran massa fluida (air).

Dalam penelitian ini maka permasalahan yang akan dibahas, yaitu:

1. Menganalisa karakteristik laju aliran massa fluida pada arang karbon aktif bambu betung sebagai material pad.

Beberapa batasan ditetapkan dalam penelitian ini meliputi:

1. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah bambu betung lokal bali
2. Temperatur karbonisasi 400, 500, 600, 700, 800 dan temperatur aktivasi 600°C
3. Fluida yang digunakan adalah air

## 2. Dasar Teori

### 2.1. Pembuatan Arang Karbon Aktif

Proses pembuatan arang karbon aktif terdiri dari proses karbonisasi dan proses aktivasi. Sebelum dari proses karbonisasi terdapat proses penghilangan kadar air pada bambu dengan cara pemasukan spesimen ke dalam oven atau dapur listrik dengan suhu 105°C selama 6 jam kemudian lanjut pada proses karbonisasi. Proses karbonisasi merupakan proses pembakaran tanpa titik temperatur tertentu dan tanpa batasan udara yang menghasilkan dengan kandungan elemen karbon yang tinggi. Tujuan dari proses karbonisasi adalah meningkatkan kandungan karbon dan menghasilkan porositas awal pada material, kemudian dilakukan proses aktivasi karena arang yang dihasilkan pada proses karbonisasi masih memiliki pori-pori yang sebagian besar tertutup oleh beberapa kompen seperti hidrokarbon, tar, debu, nitrogen, sulfur sehingga keaktifannya atau daya serapnya sudah [2]. Untuk meningkatkan daya serap arang, maka dilanjutkan dengan proses aktivasi fisika yang bertujuan untuk meningkatkan struktur pori-porinya.

### 2.2. Kapilaritas

Kapilaritas adalah kemampuan cairan mengalir pada ruang sempit tanpa adanya

bantuan atau energi tambahan dan bertentangan dengan kekuatan eksternal seperti grafitasi [3].

Proses karbonisasi dan aktivasi karbon pada material bambu betung akan menghasilkan peningkatan struktur pori dan *surface morphology* material menjadi material yang berstruktur mikropori, yang diharapkan dapat meningkatkan daya kapiler (*capillary force*) material bambu betung dan dengan daya kapiler yang tinggi akan dihasilkan laju aliran fluida yang maksimum pada material pad.

### 2.3. Permeabilitas

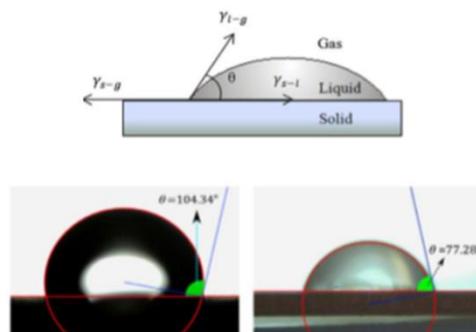
Permeabilitas didefinisikan sebagai kemampuan cairan untuk melewati pori-pori bahan berpori. Dengan kata lain, permeabilitas mencerminkan efektivitas interaksi antara cairan dan bahan berpori, dan bukan merupakan sifat cairan atau bahan berpori. [4]. Nilai dari permeabilitas dapat di tentukan dengan rumus berikut:

$$K = \frac{dp^2 \cdot \delta^3}{122 (1-\delta)^2} \quad (1)$$

Dimana K adalah permeabilitas material,  $\delta$  ialah porositas (%).dp ialah diameter pori ( $\mu\text{m}$ ), dan 122 merupakan nilai faktor geometrik arang aktif bambu [5].

### 2.4. Wettability

Sifat mampu basah (*wettability*) adalah kemampuan suatu fluida untuk membasahi permukaan zat padat, dan *wettability* sangat mempengaruhi kapilaritas dari suatu material. *Wettability* terbentuk karena pada saat terjadi kontak antara zat padat dan cair, cairan akan memindahkan lapisan gas pada zat padat sehingga membentuk permukaan cairan dan padat [6].



Gambar 1. Sudut kontak cairan dan zat padat (Xu et.al.,2013)

### 2.5. Laju Aliran Massa Fluida

Laju aliran massa fluida dalam hal ini adalah jumlah massa fluida yang dapat dipompakan secara kapiler kedalam material berpori per satuan waktu. Dimana kemampuan nilai laju aliran massa fluida berpengaruh terhadap kemampuan absorpsi air pada material pad yang akan berguna untuk menjamin ketersediaan air dalam material pad, guna berlangsungnya terjadinya proses evaporasi yang menghasilkan efek pendinginan udara.

Dimana  $\dot{m}$  ialah laju aliran massa fluida kapiler dalam material pad, yang besarnya dapat dituliskan sebagai

$$\dot{m} = \frac{\rho_l \cdot K \cdot A_w}{\mu_l \cdot l_{eff}} \left\{ \frac{2\sigma_1}{r_{eff}} \cos\theta - \rho_l \cdot g \cdot l_{eff} \cdot \sin\theta \right\} \quad (2)$$

Dimana  $\dot{m}$  ialah laju aliran massa fluida (kg/s),  $K$  adalah Permeabilitas sumbu kapiler ( $m^2$ ),  $r_{eff}$  adalah jari jari efektif pori ( $\mu m$ ),  $A_w$  adalah Luas Penampang pad ( $m^2$ ),  $l_{eff}$  adalah panjang efektif pipa kalor (m),  $\sigma$  adalah tegangan permukaan fluida (N/m),  $\mu_l$  adalah viskositas fluida kerja pipa kalor ( $N \cdot s/m^2$ ),  $\cos\theta$  adalah sudut kontak *wettability*,  $\sin\theta$  adalah sudut posisi pad,  $\rho_l$  adalah massa jenis fluida ( $Kg/m^3$ )

### 3. Metode Penelitian

#### 3.1 Pembuatan Arang Karbon Aktif

Pada proses pembuatan arang karbon aktif, peralatan yang di gunakan pada proses karbonisasi adalah reaktor karbonisasi serta nitrogen pada proses aktivasi.



Gambar 2. Peralatan proses karbonisasi

Pada penelitian ini akan di lakukan dulu tahap karbonisasi pada masing masing spesimen dengan variasi temperatur karbonisasi 400, 500, 600, 700, dan 800°C , yang menghasilkan spesimen KRB 400, KRB 500, KRB 600, KRB 700, dan KRB 800 kemudian setelah di karbonisasi untuk meningkatkan struktur pori dilakukan dengan proses aktivasi dengan menyuntikan aliran nitrogen pada seluruh spesimen kemudian spesimen akan di panaskan dalam reaktor dengan suhu 600°C yang menghasilkan spesimen AKRB400, AKRB 500, AKRB 600, AKRB 700, dan AKRB 800[7].

#### 3.2 Pengujian SEM

Setelah spesimen melalui proses karbonisasi dan aktivasi dilanjutkan dengan tahap pengujian *scanning electron microscope* (SEM) yang merupakan bertujuan untuk mengetahui seberapa besar stuktur pori yang pengaruhnya sangat besar terhadap karakteristik porositas dan tegangan permukaan fluida pada arang karbon aktif bambu betung.

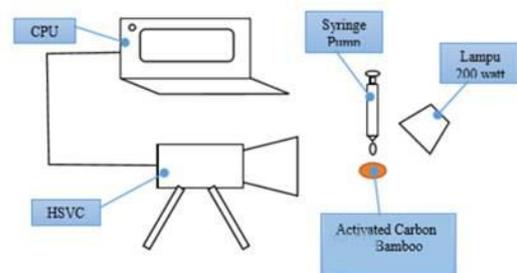
Tahapan dalam pengujian *scanning electron microscope* (SEM) pada arang bambu betung, yaitu :

1. Spesimen arang aktif bambu yang dihasilkan melalui karbonisasi dan aktivasi di bentuk dengan ukuran 2mm x 2mm
2. Meletakkan 4 spesimen (AKRB 400, 500, 600, 700 dan 800) tersebut ke dalam alat *scanning electron microscope* (SEM).
3. Dilakukan analisis gambar pada struktur pori pada masing-masing spesimen.

Dari struktur pori hasil uji SEM dan dibantu dengan aplikasi Image J, dapat ditentukan besarnya ukuran pori, distribusi pori dan porositas material.

#### 3.3 Pengujian Sudut Kontak

Pengujian sudut kontak ini dimaksudkan untuk menentukan sifat mampu basah (*wettability*) dari material bambu yang telah diaktivasi. Adapun tahapan pengujian *wettability* pada arang bambu betung dengan cara meletakkan spesimen tepat dibawah *syringe pump* kemudian di injeksikan air berupa droplet tepat di permukaan pori dan kulit pada seluruh spesimen AKRB, pengujian dilakukan dengan mengambil video melalui kamera HSVC (*High Speed Video Camera*) kemudian di lakukan analisis dalam bentuk gambar dengan aplikasi image J.



Gambar 3. Skema Pengujian Sudut Kontak

#### 3.4 Pengujian Kapilaritas

Pengujian kapilaritas ini bertujuan untuk mengetahui nilai dari porositas. Adapun tahapan pengujian nya yaitu :

1. Siapkan spesimen AKRB400, AKRB500, AKRB600, AKRB700, dan AKRB800. Timbang untuk mendapat nilai massa spesimen sebelum menyerap air.
2. Lakukan pengujian dengan menempelkan tisu dipermukaan atas spesimen yang akan diuji.
3. Mengisi gelas beker dengan air dan letakkan diatas timbangan.
4. Memegang spesimen dengan posisi bagian bawah spesimen menempel dengan permukaan air di gelas beker.
5. Bersamaan dengan langkah no.4 hidupkan stopwatch.
6. Ketika seluruh bagian tisu sudah basah, matikan stopwatch dan angkat spesimen

dari gelas beker dan timbang massa spesimen setelah penyerapan.

7. Catat data ketinggian air (tinggi spesimen), waktu penyerapan, dan perubahan massa air dari sebelum terjadi penyerapan dan sesudah proses penyerapan sebagai data kapilaritas karbon aktif dan tegangan permukaan.

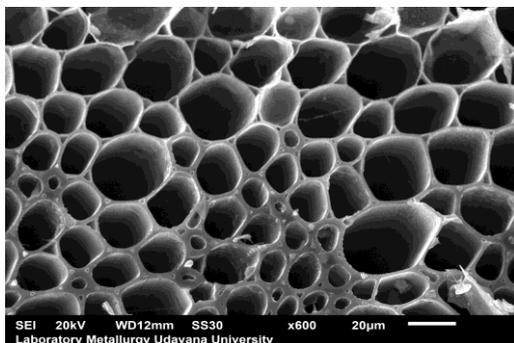
#### 4. Hasil dan Pembahasan

##### 4.1 Karakteristik Struktur Pori

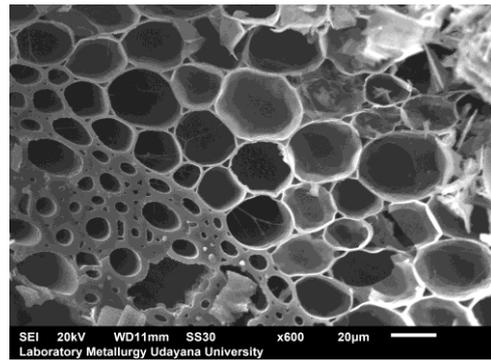


**Gambar 4. Spesimen arang aktif bambu betung, AKRB 400, 500, 600, 700 dan 800**

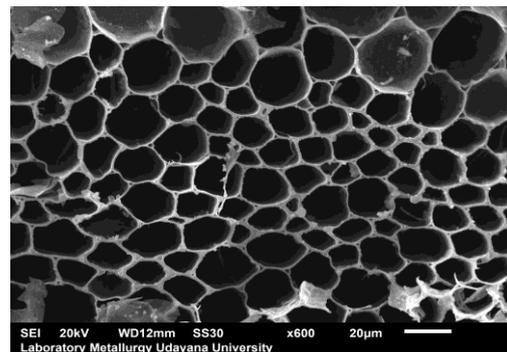
Gambar 4. merupakan gambar hasil bambu betung setelah melalui proses karbonisasi dengan variasi temperatur 400, 500, 600, 700, 800 °C dan diaktivasi dengan suhu temperatur 600°C tanpa holding time. Kemudian spesimen dilanjutkan dengan pengujian *scanning electron microscope* (SEM) menentukan dan mengambil gambar struktur pori pada masing-masing spesimen dengan resolusi 20 µm. Dimana gambar struktur pori tersebut akan dianalisis menggunakan aplikasi Image J. Sementara itu, data output yang ditentukan dari hasil analisis menggunakan aplikasi Image J adalah distribusi jari-jari pori, yang kemudian dirata-ratakan sehingga menghasilkan data jari-jari pori material karbon aktif bambu betung, seperti yang terlihat pada gambar 4.2



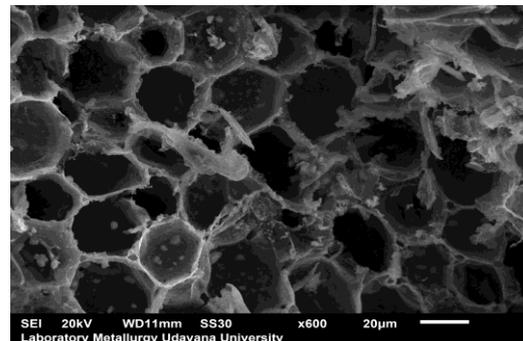
(a)



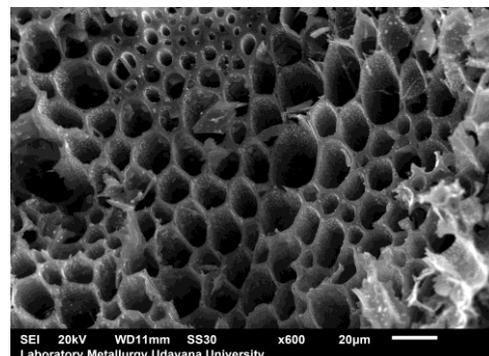
(b)



(c)



(d)



(e)

**Gambar 5. Gambar Struktur Pori dari spesimen (a) AKRB 400, (b) AKRB 500, (c) AKRB 600, (d) AKRB 700, dan (e) AKRB 800**

Berikut data yang ditampilkan Pada Tabel 1 berdasarkan hasil analisis uji *scanning electron microscope* (SEM) yang diolah dengan aplikasi Image J dan sudah di proses dengan Microsoft Excel. Dari Microsoft Excel akan didapat data distribusi pori pada permukaan spesimen yang diuji *scanning electron microscope* (SEM) yang dirata-ratakan menjadi jari jari pori.

**Tabel 1. Hasil Pengolahan data struktur pori**

Nama Spesimen	Jari-Jari Pori(µm)
AKRB400	3.03
AKRB500	3.17
AKRB600	2.58
AKRB700	2.91
AKRB800	1.91

**4.2 Karakteristik Porositas**

Porositas ialah perbandingan antara volume pori yang terbentuk pada material dan volume total material. Pada penelitian ini, perhitungan nilai porositas berdasarkan pada perhitungan yang telah dilakukan Midiani (Midiani et al., 2019) dan Solomon (Solomon et al., 2020), dimana pengukuran dilakukan dengan mengukur massa awal spesimen saat dalam keadaan kering dan massa akhir spesimen saat jenuh dengan air. Pengurangan antara keduanya adalah volume air yang terserap atau volume rongga yang ada pada arang. Dimana volume pori diketahui dari hasil perkalian volume air yang terserap dengan volume spesifik air saat jenuh. Diketahui volume spesifik air saat jenuh adalah 1003 mm<sup>3</sup>/gr. Berikut tabel data porositas yang didapat melalui pengujian kapilaritas.

**Tabel 2. Data porositas material karbon aktif bambu betung**

Nama Spesimen	Massa Awal (gr)	Massa Akhir (gr)	Massa Air Yang Terserap (gr)
AKRB400	2.46	4.8859	2.4259
AKRB500	2.10	5.4544	3.3544
AKRB600	2.38	5.8493	3.4693
AKRB700	2.16	5.3986	3.2386
AKRB800	2.16	5.3462	3.1862

Volume Pori (mm <sup>3</sup> )	Volume Material (mm <sup>3</sup> )	Porositas (%)
2.4331777	13.787	17.64835
3.3644632	15.597	21.57122
3.4797079	14.26	24.40188
3.2483158	13.431	24.18521
3.1957586	14.479	22.07168

**4.3 Sudut Kontak**

Pengukuran sudut kontak yang di gunakan pada penelitian ini, berdasarkan pada pengukuran yang telah dilakukan Xu (Xu et al., 2013). Pengukuran dengan cara menambahkan garis bantu antara permukaan pori bambu betung dan menambahkan garis bantu yang menyinggung busur lingkaran pada droplet sehingga kedua garis bantu membentuk sudut. – dengan aplikasi image J. Semakin kecil sudut kontak yang terbentuk antara fluida dan material padat, maka material tersebut akan memiliki *wettability* yang makin besar [8].

**Tabel 3. Data sudut kontak dan jari pori efektif**

Nama spesimen	Sudut Kontak (θ)	Jari-jari Pori Efektif (m)
AKRB 400	29.06	0.00000348
AKRB 500	18.73	0.00000335
AKRB 600	35.65	0.00000317
AKRB 700	33.09	0.00000347
AKRB 800	39.94	0.00000249

**4.4 Karakteristik Permeabilitas**

Permeabilitas adalah ukuran makroskopik kemudahan cairan melewati rongga berpori suatu material. Dengan kata lain, permeabilitas mencerminkan efektivitas interaksi antara cairan dan bahan berpori, dan bukan merupakan sifat cairan atau bahan berpori. [9]. Berikut merupakan tabel data dari permeabilitas

**Tabel 4. Tabel nilai permeabilitas spesimen arang aktif bambu**

Spesimen	Faktor geometrik	Diameter pori (mm)	Porositas (mm <sup>3</sup> )	Permeabilitas (m <sup>2</sup> ) 10 <sup>-15</sup>
AKRB400	122	6.05	0.176	2.41
AKRB500	122	6.34	0.216	5.41
AKRB600	122	5.16	0.244	5.55
AKRB700	122	5.82	0.242	6.85
AKRB800	122	3.82	0.221	2.31

**4.5 Laju Aliran Massa Fluida**

Perpindahan panas sensibel terjadi antara udara luar dan massa air melalui permukaan material pad, sehingga besarnya laju perpindahan panas sensibel ini, dapat dianggap sama dengan panas yang didapat oleh air yang besarnya tergantung pada laju aliran massa fluida air pada material pad [10].

Dalam menentukan besarnya laju aliran massa fluida pada material arang aktif bambu

betung terdapat beberapa pengujian seperti yang telah dilakukan sebelumnya yaitu *wettability* untuk mendapatkan nilai sudut kontak, uji permeabilitas, uji *scanning electron microscope* (SEM) untuk mendapatkan struktur pori, dan uji kapilaritas untuk mendapatkan tegangan permukaan.

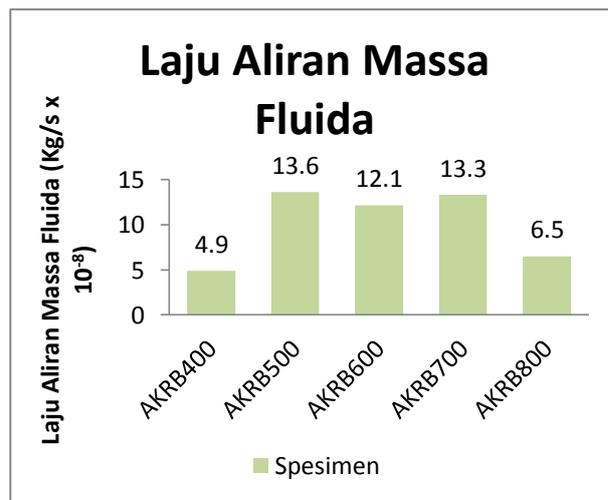
**Tabel 5. Hasil perhitungan laju aliran massa fluida**

Nama Spesimen	Permeabilitas (m <sup>2</sup> )	Panjang efektif material (mm)	Luas penampang pad (mm x 10 <sup>-4</sup> )
AKRB 400	2.41	0.028	4.94
AKRB 500	5.41	0.032	4.88
AKRB 600	5.55	0.029	5.00
AKRB 700	6.85	0.033	4.60
AKRB 800	2.13	0.034	4.71

Jari-jari efektif pori (µm)	Sudut kontak (θ)	m (kg/s) 10 <sup>-8</sup>
3.48	29.06	4.90
3.35	18.73	13.6
3.17	35.65	12.1
3.47	33.09	13.3
2.49	39.94	6.50

Berdasarkan Tabel 4.5. dapat dilihat bahwa material karbon aktif AKRB 500 memiliki laju aliran massa tertinggi dengan nilai 13.6 x10<sup>-8</sup>. Hal ini disebabkan oleh ukuran pori yang cukup besar dan porositas yang cukup tinggi pada material AKRB 500 akan menghasilkan permeabilitas yang cukup besar dan dengan sudut kontak yang paling kecil material akan bersifat lebih *hidrofilik* (lebih mampu basah) dibandingkan dengan yang lainnya. Sementara ARKB 400 memiliki laju aliran massa fluida terendah dengan nilai 4.90 x10<sup>-8</sup> dikarenakan memiliki nilai permeabilitas terendah serta nilai sudut kontak yang cukup besar sehingga kemampuan basahnya rendah. Dengan demikian, semakin tinggi permeabilitas dan sifat mampu basah (*wettability*) material, maka nilai laju aliran massa fluida yang dihasilkan semakin pula besar. Berikut merupakan gambar grafik perbandingan nilai laju aliran massa fluida

dengan variasi temperatur karbon aktif tanpa *holding time*.



**Gambar 6. Grafik perbandingan laju aliran massa fluida antara AKRB 400, 500, 600, 700, dan 800**

**5. Kesimpulan**

Dari penelitian yang telah dikerjakan, pengaruh tahap aktivasi tanpa *holding time* pada spesimen karbon bambu betung, dapat di simpulkan bahwa Material karbon aktif bambu betung AKRB 500 memiliki karakteristik laju aliran massa tertinggi yakni sebesar 13.6 x 10-8 kg/s sedangkan laju aliran massa fluida terkecil dihasilkan oleh material AKRB 400 yakni sebesar 4.9 x 10-8 kg/s. Semakin tinggi permeabilitas dan sifat mampu basah (*wettability*) material, maka semakin besar nilai laju aliran massa fluida yang dihasilkan sehingga material ini sangat berpotensi digunakan sebagai material pad sistim *direct evaporative cooling*, karena akan mampu menyerap panas udara lebih banyak, sehingga proses evaporasi pada material pad menjadi semakin besar dan menghasilkan efek pendinginan yang lebih besar pula.

**Daftar Pustaka**

[1] Rizky Pratama Rachman, Bambang Yuniarto. 2014. *PENGARUH JENIS SPRAYER TERHADAP EFEKTIVITAS DIRECT EVAPORATIVE COOLING DENGAN COOLING PAD SERABUT KELAPA*. Jurnal Teknik Mesin Universitas Diponegoro. Vol. 2, No. 2. 78-82.

[2] Lempang, M. 2014. *Pembuatan Dan Kegunaan Arang Aktif*. Info Teknis EBONI 2 (11):65-80. Makassar: Balai Penelitian Kehutanan Makassar.

[3] Lago, M. & Araujo, M. 2001. *Capillary Rise In Porous Media. Physica A: Statistical Mechanics And Its Applications*, 289, 1-17.

- [4] Berti, L. F., Bazzo, E., Santos, P.H.D., Janssen, R. 2011. **Evaluation of permeability of ceramic wick structures for two phase heat transfer devices.**
- [5] Solomon, A. B., Mahto , A. K., Joy, R. C., Rajan, A. A., Jayprakash, D. A., Dixit, A., Sahay, A. 2020. **Application of bio-wick in compact loop heat pipe. Applied Thermal Engineering**, 169, 114927.
- [6] Xu, B., Liu, D., Xu, G., Zhang, X. & Bi, L. 2013. **A Measurement Method For Contact Angle Based On Hough Transformation. Measurement**, 46, 1109-1114.
- [7] Isa, S.S.M., Ramli, M.M., Hambali, N.A.M.A., Kasjoo, S.R., Isa, M.M., Nor, N.I.M., Ahmad, N. (2016). **Adsorption Properties and Potential Applications of Bamboo Charcoal: A Review.** MATEC Web of Conferences, 78, 01097.
- [8] Shirazy, M. R., Blais, S. & Fréchette, L. G. 2012. **Mechanism Of Wettability Transition In Copper Metal Foams: From Superhydrophilic To Hydrophobic.** Applied Surface Science, 258, 6416-6424..
- [9] Berti, L. F., Bazzo, E., Santos, P.H.D., Janssen, R. 2011. **Evaluation of permeability of ceramic wick structures for two phase heat transfer devices.**
- [10] Ramkumar, Ramakrishnan. 2017. **EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF INDIRECT EVAPORATIVE COOLER USING CLAY PIPE. Journal of Thermal Engineering**, Vol. 3, No. 2 pp. 1163-1180.
- [11] Midiani, L.P., Suprpta, I.N.S., Septiadi, W.N., Sucipta, M. 2019. **Characterization of capillary pumping amount in novel sintered zeolites and hybrid zeolite-Cu for heat pipe applications. International Journal of Heat and Mass Transfer**, Volume 145

	<p><b>Rekki Proverbs Sitanggang</b> menyelesaikan studi program sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2017 sampai 2021. Ia menyelesaikan studi sarjana dengan topik penelitian: Laju Aliran Massa Fluida Pada Karbon Aktif Bambu Betung Dengan Variasi Temperatur Karbonisasi 400, 500, 600, 700, 800 Dan Temperatur Aktivasi 600°C</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati adalah materi-materi yang berhubungan dengan perpindahan panas, mekanika fluida, dan pendinginan evaporative air cooler.</p>	

# Studi Eksperimental Laju Perpindahan Panas dan Laju Aliran Massa Fluida Pada Karbon Aktif Bambu Betung Dengan Temperatur 600°C Holding Time 60 Menit

Manatap H.Ady Siregar, Hendra Wijaksana, dan I Gede Teddy Prananda Surya  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

Saat ini siklus kompresi uap sangat dominan meskipun menggunakan energi yang sangat besar dan kurang efisien jika beroperasi pada iklim yang panas. Konsumsi energi ini meningkat drastis seiring peningkatan temperatur lingkungan. Maka dari itu, diperlukan sistem pendingin yang ramah lingkungan dan lebih hemat energi. Salah satu pendingin alternatif ialah sistem direct evaporative cooling. Dalam sistem direct evaporative cooling, efek pendinginan diberikan oleh proses penguapan yang terjadi pada material pad yang telah terbasahi oleh air. Material pad itu sendiri digunakan untuk pengaplikasian sistem pendingin evaporative, sebagai media pendingin. Penelitian ini menggunakan arang karbon aktif sebagai material pad untuk mengetahui pengaruh laju aliran massa fluida dan laju perpindahan panas pada sistem direct evaporative cooling dengan menggunakan temperatur karbonisasi 400°C, 500°C, 600°C, 700°C, 800°C kemudian diaktivasi pada temperatur 600°C holding time 60 menit. Pengujian ini meliputi beberapa pengujian seperti uji SEM, uji sudut kontak, dan uji kapilaritas. Hasil dari seluruh pengujian menunjukkan bahwa spesimen ABB 1 (400°C) memiliki laju aliran massa dan laju perpindahan panas tertinggi yakni sebesar  $23.7 \times 10^{-5}$  Kg/s dan 0.53 Watt yang bisa dijadikan potensi pada pembuatan material pad baru pada sistem direct evaporative cooling.

Kata kunci: Bambu betung, direct evaporative cooling, karbonisasi, aktivasi, Laju aliran massa fluida, Laju perpindahan panas.

## Abstract

Currently the vapor compression cycle is very dominant although it uses a lot of energy and is less efficient when operating in a hot climate. This energy consumption increases dramatically as the ambient temperature increases. Therefore, a cooling system that is environmentally friendly and more energy efficient is needed. One alternative cooling system is direct evaporative cooling. In a direct evaporative cooling system, the cooling effect is provided by the evaporation process that occurs in the pad material that has been wetted by water. The pad material itself is used for the application of evaporative cooling systems, as a cooling medium. This study uses activated carbon charcoal as a pad material to determine the effect of fluid mass flow rate and heat transfer rate on a direct evaporative cooling system using carbonization temperatures of 400°C, 500°C, 600°C, 700°C, 800°C then activated with a temperature of 600°C holding time 60 minutes. This test includes several tests such as SEM test, contact angle test, and capillarity test. The results of all tests show that the ABB 1 specimen (400°C) has the highest mass flow rate and heat transfer rate of  $23.7 \times 10^{-5}$  Kg/s and 0.53 Watt which can be used as potential for the manufacture of new pad materials in the direct evaporative cooling system.

Keywords: Bamboo betun, direct evaporative cooling, carbonization, activation, fluid mass flow rate, heat transfer rate

## 1. Pendahuluan

Sistem direct evaporative cooling mempunyai banyak komponen dan yang menjadi komponen utamanya adalah mechanical fan, cooling pad dan pompa air, dimana komponen yang terpenting dalam sistem direct evaporative cooling adalah cooling pad. Cooling pad merupakan media pendingin yang berpori yang memiliki daya tampung air yang cukup tinggi dan daya serap untuk memungkinkan terjadinya perpindahan panas dan massa antara air dalam material berpori tersebut dengan udara yang melewati pad untuk menjamin terjadinya proses evaporasi pada evaporative cooling wall. Dimana faktor jumlah massa air yang ada pada material merupakan factor penentu besarnya laju perpindahan panas dan laju perpindahan massa (laju evaporasi) yang terjadi. Dengan jumlah massa air yang lebih banyak pada permukaan material, maka akan lebih banyak pula panas yang dapat diserap oleh material

untuk menguapkan air tersebut. Keberadaan jumlah massa air yang signifikan dapat disediakan apabila material memiliki porositas yang tinggi dengan daya kapilaritas yang tinggi pula.

Berdasarkan pemaparan diatas, maka dilakukan penelitian untuk mengetahui laju perpindahan panas dan laju aliran massa pada material pad sistem direct evaporative cooling.

Beberapa batasan ditetapkan dalam penelitian ini meliputi:

1. Bahan material yaitu bambu betung lokal Bali
2. Temperatur Karbonisasi 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C dan 800 °C
3. Temperatur aktivasi ditetapkan 600°C
4. Menahan waktu temperature aktivasi selama 60 menit
5. Reaktor karbonisasi dalam lingkungan bebas oksigen (inert atmosphere)

6. Proses aktivasi dilakukan pada temperature lingkungan (outdoor)

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Kinerja Kapiler Material Pad

#### 2.1.1 Kapilaritas

Proses karbonisasi dan aktivasi karbon pada material pad akan menghasilkan peningkatan struktur pori dan surface morfologi material menjadi material yang berstruktur mikropori, yang diharapkan dapat meningkatkan daya kapiler (capillary force) material pad dan dengan daya kapiler yang tinggi akan dihasilkan laju aliran fluida yang maksimum pada material pad, dan dengan peningkatan karakteristik kapilaritas ini, nantinya diharapkan dapat memperluas wetted area dan memperbesar volume air pada material pad karbon aktif yang akan digunakan untuk sistim *direct evaporative cooling*.

Kapilaritas adalah kemampuan cairan mengalir pada ruang sempit tanpa adanya bantuan atau energi tambahan dan bertentangan dengan kekuatan eksternal seperti grafitasi [1]. Besarnya daya kapiler (*capillary force*) pada material berpori dapat ditentukan dengan persamaan :

$$\Delta P_{cap} = \frac{2\sigma \cos \theta}{r_p} \quad (1)$$

Dimana :

$\Delta P_{cap}$  = Tekanan Kapiler ( $N/m^2=kg/m.s^2$ )

$\sigma$  = Tenggangan permukaan ( $N/m$ )

$\cos \theta$  = Sudut kontak ( $^\circ$ )

$r_p$  =jari-jari pori (m)

Sedangkan besarnya jari-jari efektif pori dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan

$$r_{eff} = \frac{r}{\cos \theta} \quad (2)$$

Dimana  $r_{eff}$  adalah jari-jari efektif pori dan  $r$  adalah jari-jari pori

#### 2.1.2 Porositas

Porositas material adalah perbandingan antara volume pori yang terbentuk pada material dan volume total material tersebut. Pada material berpori, besarnya porositas dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan[2]

$$Porosity (\epsilon) = \frac{v_{pori}}{v_m} \quad (3)$$

$$v_{pori} = M_{air} \times v_{spesifik} \quad (4)$$

Dimana  $V_{pw}$  adalah volume pori yang terbentuk ( $m^3/g$ ),  $V_w$  adalah volume total material berpori ( $m^3/g$ ),  $M_{air}$  adalah massa air yang tertahan (gr), dan  $V_{spesifik}$  adalah volume spesifik ( $m^3/g$ )

### 2.1.3 Permeabilitas

Permeabilitas dianggap sebagai makroskopik ukuran kemudahan yang mengalir cairan melalui rongga media pori. Demikian permeabilitas bukanlah properti dari cairan atau properti media berpori, tetapi mencerminkan efektivitas interaksi di antara cairan dan media berpori [3]. Permeabilitas dihitung menurut rumus berikut :

$$K = \frac{dp^2 \cdot \epsilon^3}{c (1-\epsilon)^2} \quad (5)$$

K adalah permeabilitas material,  $dp$  adalah diameter pori ( $\mu m$ ),  $C$  adalah faktor geometrik yaitu 122[4] dan  $\epsilon$  adalah porositas (%)

### 2.1.4 Sifat mampu basah (*wettability*)

Sifat mampu basah (*wettability*) adalah kemampuan suatu fluida untuk membasahi permukaan zat padat, dan *wettability* sangat mempengaruhi kapilaritas dari suatu material. Untuk memiliki kapilaritas suatu material harus memiliki sifat mampu basah sebagai syarat utamanya. *wettability* material sangat dipengaruhi oleh sudut kontak. Makin kecil sudut kontak yang terbentuk antara fluida dan material padat, maka material tersebut akan memiliki *wettability* yang makin besar[5] dan sebaliknya *wettability* dan kapilaritas material akan menurun dengan bertambah besarnya sudut kontak yang terbentuk.

## 2.2 Kinerja Thermal Material Pad

### 2.2.1 Laju Perpindahan Panas

Adanya aliran udara basah (humid) terhadap permukaan material, maka perpindahan panas akan terjadi bila terjadi beda temperatur udara dengan permukaan material pad yang telah dialirir air. Laju perpindahan panas dan massa akan dilakukan dengan konsep bahwa energi panas udara akan ditransfer ke massa air yang ada dalam material melalui permukaan material dan untuk energi penguapan air. Massa air yang mengalir pada material pad *direct evaporative cooling* dengan laju aliran massa yang sama sepanjang material pad akibat daya kapiler material, akan menerima panas sensibel dan panas laten udara luar. Perpindahan panas sensibel terjadi antara udara luar dengan massa air melalui permukaan material pad, sehingga besarnya laju perpindahan panas sensibel ini, dapat dianggap sama dengan panas yang didapat oleh air yang besarnya tergantung pada laju aliran massa fluida air pada material pad [6]. Besar laju perpindahan panas dapat ditentukan dari persamaan :

$$Q = \dot{m} \times L \quad (6)$$

Dimana,  $Q$  adalah laju perpindahan panas (watt),  $\dot{m}$  adalah laju aliran massa ( $kg/s$ ) dan  $L$  adalah kalor laten ( $J/kg$ )

### 2.2.2 Laju Perpindahan Massa

Laju perpindahan massa dalam hal ini adalah jumlah massa fluida yang dapat dipompakan secara kapiler kedalam material berpori per satuan waktu. Dimana  $\dot{m}$  adalah laju aliran massa fluida kapiler dalam material pad, yang besarnya dapat dituliskan sebagai :

$$\dot{m} = \frac{\rho_l K A_w}{\mu_{eff} l_{eff}} \left\{ \frac{2\sigma_1}{r_{eff}} \cos \theta - \rho_l g l_{eff} \sin \phi \right\} \quad (7)$$

K : Permeabilitas ( $m^2$ )

$\mu_1$  : viskositas fluida kerja (kg/s·m)

$l_{eff}$  : panjang efektif ( m )

$r_{eff}$  ; Jari-jari efektif ( m )

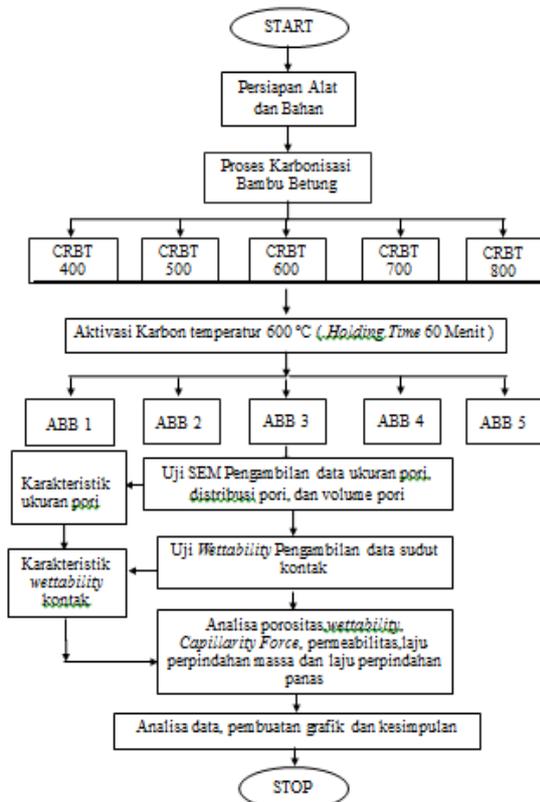
### 3. Metode Penelitian

#### 3.1 Bahan dan Alat

Penelitian dan pengujian ini mempergunakan bahan dan peralatan sebagai berikut:

1. Bambu betung Bali
2. Pisau
3. Gergaji
4. Timbangan
5. Oven
6. Reaktor pyrolysis
7. Stopwatch
8. Nitrogen
9. Image J
10. Sample Holder
11. Syringe pump
12. Lampu
13. Kamera

#### 3.2 Diagram Alir Penelitian

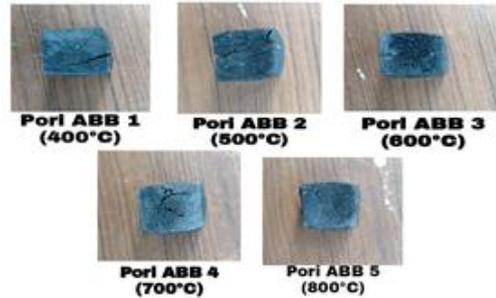


Gambar 1. Diagram alir penelitian

### 4. Hasil dan Pembahasan

#### 4.1 Aktivasi

Dalam hal ini, diharapkan struktur pori yang dihasilkan dalam pengujian aktivasi mempunyai diameter pori yang relatif besar agar spesimen bambu betung yang telah diaktivasi pada temperatur 600°C *holding time* 60 menit memiliki porositas tinggi dengan ukuran pori berskala nano dan daya kapilaritas yang tinggi, sehingga menyebabkan material bambu khususnya mampu menyerap dan menahan massa air yang lebih banyak dan lama (*high water retention capability*) sehingga cukup memadai untuk proses penguapan.



Gambar 2. Arang karbon aktif bambu betung

#### 4.2 Hasil Uji SEM

Pada saat pengujian SEM ditunjukkan struktur pori pada layar monitor dan dilakukan analisis terhadap struktur pori bambu betung. Tahap akhir dari pengujian SEM adalah mengambil gambar struktur pori pada masing-masing spesimen dengan temperatur yang telah ditentukan dengan resolusi gambar 20  $\mu m$ . Resolusi tersebut digunakan untuk mempermudah proses analisis Gambar struktur pori yang sudah didapatkan lalu dianalisis menggunakan aplikasi ImageJ. Sementara itu, data *output* yang ditentukan dari hasil analisis menggunakan aplikasi Image J adalah distribusi luas permukaan pori, total luas permukaan pori, dan fraksi luas permukaan pori. Kemudian dilakukan pengolahan data menggunakan aplikasi Microsoft Excel, sebagai tahap akhir untuk mengetahui karakteristik struktur pori pada bambu betung.

Tabel 1 Menunjukkan hasil pengolahan data karakteristik struktur pori pada karbon aktif bambu betung yang didapat dari hasil analisis uji SEM dan aplikasi *image J* yang sudah diolah pada microsoft excel .Berdasarkan tabel dibawah, spesimen ABB 1 (400 °C) memiliki jari-jari pori tertinggi, 5,761  $\mu m$  dan spesimen ABB 5 (800°C) memiliki ukuran jari-jari pori terendah sebesar 2,432  $\mu m$  jika dibandingkan dengan spesimen lainnya.

**Tabel 1. Hasil struktur pori karbon aktif bambu betung**

Nama Spesimen	Jari Pori rata-rata (µm)
ABB 1	5,761
ABB 2	3,615
ABB 3	2,682
ABB 4	3,351
ABB 5	2,432

### 4.3 Karakteristik Porositas

Porositas merupakan perbandingan antara volume pori yang terbentuk pada material dan volume total material tersebut. Pada penelitian ini, perhitungan nilai porositas berdasarkan pada perhitungan yang telah dilakukan Midiani, dimana pengukuran dilakukan dengan mengukur massa awal spesimen saat dalam keadaan kering dan massa akhir spesimen saat jenuh dengan air. Pengurangan antara keduanya adalah volume air yang terserap atau volume rongga yang ada pada arang. Dimana volume pori diketahui dari hasil perkalian volume air yang terserap dengan volume spesifik air saat jenuh. Diketahui volume spesifik air saat jenuh adalah 1003 mm<sup>3</sup>/gr. Tabel 2, menunjukkan hasil pengolahan data karakteristik porositas pada karbon aktif bambu betung.

**Tabel 2. Data Nilai Porositas**

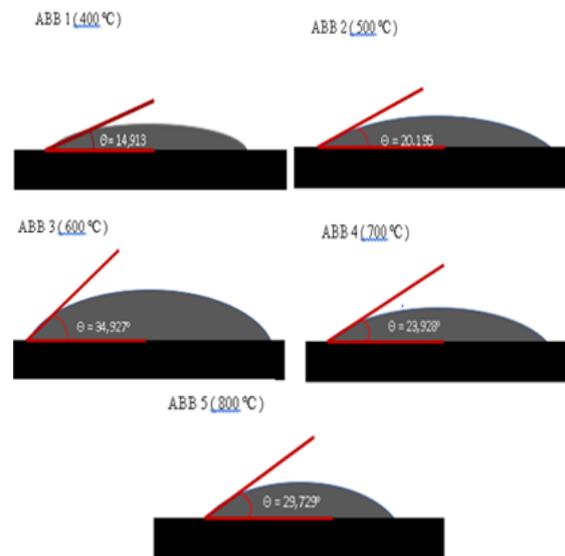
Spesimen	Massa Awal (gr)	Massa Akhir (gr)	Massa Air Yang Terserap (gr)	Volume Pori (mm <sup>3</sup> )	Volume Material (mm <sup>3</sup> )	Porositas (%)
ABB 1	2,16	5,1416	2,9816	2990,5448	14946	20.008
ABB 2	2,46	5,2945	2,8345	2843,0035	14869	19.120
ABB 3	1,5	3,141	1,641	1645,923	10129	15.201
ABB 4	2,48	5,5445	3,0645	3073,6935	13859	22.178
ABB 5	1,49	4,3128	2,8228	2831,2684	12387	22.856

Pada tabel di atas, sampel ABB 5 (800°C) memiliki nilai porositas tertinggi, yaitu 22.856% sedangkan sampel ABB 3 (600°C) memiliki nilai porositas terendah, yaitu 15.201%. Hal ini dikarenakan, nilai porositas sangat dipengaruhi oleh volume pori dan volume total material.

### 4.4 Wettability

Untuk menentukan wettability suatu material uji adalah dengan mengukur sudut kontak antara permukaan cairan dan permukaan material uji. Sudut kontak yaitu sudut yang didapat dari dua garis, dimana garis yang pertama merupakan batas antara zat cair dan udara yang ditetaskan dan garis kedua yaitu batas antara zat padat dan zat cair yang terbentuk yang telah ditetesi. saat cairan telah

ditetaskan di permukaan padatan terhadap udara terbuka, maka setelah ditetaskan cairan akan keadaan setimbang. Sudut kontak antara fluida berupa air dengan permukaan pori bambu betung dapat diketahui melalui pengujian *wettability* (kemampuan basah).



**Gambar 3. Sudut kontak ABB 1 (400°C), ABB 2 (500°C), ABB 3 (600°C), ABB 4(700°C), dan ABB 5 (800°C)**

Berdasarkan pengujian *wettability* pada material karbon aktif bambu betung tersebut diatas, dapat dilihat besarnya sudut kontak untuk masing-masing material tersebut seperti pada gambar 3. Kemudian dengan membagi jari-jari pori dengan cosinus sudut kontak didapat jari-jari pori efektif, dimana  $r_{eff} = r / \cos \theta$

**Tabel 3. Data sudut kontak dan jari pori efektif**

Nama spesimen	Sudut Kontak	Jari-jari Pori Efektif (m)
ABB 1	14.913	$5.961 \times 10^{-6}$
ABB 2	20.195	$3.851 \times 10^{-6}$
ABB 3	34.927	$2.702 \times 10^{-6}$
ABB 4	23.298	$3.648 \times 10^{-6}$
ABB 5	29.729	$2.8 \times 10^{-6}$

Berdasarkan tabel 3 spesimen ABB 1 (400°C) memiliki Sudut kontak terendah, yaitu 14.913° dan spesimen ABB 3 (600°C) memiliki Sudut kontak tertinggi, yaitu 34.927 °. Maka hal ini menunjukkan *wettability* (kemampuan basah) tertinggi terdapat pada sudut kontak spesimen ABB 1 dan spesimen ABB 3 memiliki *wettability* (kemampuan basah) terendah. Karena semakin kecil sudut kontak maka semakin besar wettabilitinya dan sebaliknya.

#### 4.5 Permeabilitas

Permeabilitas didefinisikan sebagai makroskopik seberapa mudahnya cairan mengalir melalui rongga-rongga dalam suatu media berpori. Kata lainnya permeabilitas menggambarkan dari efektivitas interaksi antara porous material dan cairan, dan bukan properti dari porous material ataupun cairan. Tabel 4 menunjukkan hasil pengolahan data dari permeabilitas karbon aktif bambu betung yang telah diteliti. Dari tabel menunjukkan bahwa sampel ABB 1 memiliki nilai permeabilitas tertinggi yaitu  $68.4 \times 10^{-15} \mu\text{m}^2$  dan spesimen ABB 3 memiliki nilai permeabilitas yang paling rendah yaitu  $8.8 \times 10^{-15} \mu\text{m}^2$ . Hal ini dikarenakan nilai permeabilitas dipengaruhi oleh nilai porositas dan diameter pori dari spesimen arang bambu betung. Spesimen yang memiliki porositas dan diameter pori yang besar akan menghasilkan permeabilitas tinggi

**Tabel 4. Pengolahan data permeabilitas karbon aktif bambu betung.**

Nama Spesimen	Porositas	Faktor Geometrik Bambu	Diameter Pori( $\mu\text{m}$ )	Permeabilitas ( $\text{m}^2$ )
ABB 1	0.20008	122	11.552	$13.6 \times 10^{-15}$
ABB 2	0.19120	122	7.23	$4.57 \times 10^{-15}$
ABB 3	0.16249	122	5.364	$1.44 \times 10^{-15}$
ABB 4	0.22178	122	6,702	$6.63 \times 10^{-15}$
ABB 5	0.22856	122	4.864	$3.88 \times 10^{-15}$

#### 4.6 Laju Perpindahan Massa

Untuk menentukan besarnya laju perpindahan massa fluida pada material arang aktif bambu betung terdapat beberapa pengujian seperti yang telah dilakukan sebelumnya yaitu uji SEM, *wettability*, uji permeabilitas, dan uji kapilaritas pada spesimen ABB 1, ABB 2, ABB 3, ABB 4 dan ABB 5. Kemudian melakukan pengolahan data pada setiap pengujian.

**Tabel 5. Hasil pengolahan data laju aliran massa pada bambu betung**

Nama Spesimen	Panjang efektif material (m)	Luas penampang pad Sudut ( $\text{m}^2$ )	Kontak ( $^\circ$ )
ABB 1	0.0279	$5.3568 \times 10^{-4}$	14.913
ABB 2	0.0277	$5.368 \times 10^{-4}$	20.195
ABB 3	0.0295	$3.4336 \times 10^{-4}$	34.927
ABB 4	0.0268	$5.1714 \times 10^{-4}$	23.298
ABB 5	0.0236	$5.2488 \times 10^{-4}$	29.729

Jari-jari efektif pori(m)	Permeabilitas $\text{K}(\text{m}^2)$	Laju Aliran Massa $\dot{m}$ (kg/s)
$5.961 \times 10^{-6}$	$1.36 \times 10^{-14}$	$23.7 \times 10^{-4}$
$3.851 \times 10^{-6}$	$4.57 \times 10^{-15}$	$12 \times 10^{-4}$
$2.702 \times 10^{-6}$	$1.44 \times 10^{-15}$	$1,9 \times 10^{-4}$
$3.648 \times 10^{-6}$	$6.63 \times 10^{-15}$	$18 \times 10^{-4}$
$2.8 \times 10^{-6}$	$3.88 \times 10^{-15}$	$15 \times 10^{-4}$

Pada tabel 5 dapat dilihat bahwa material karbon aktif ABB 1 ( $400^\circ \text{C}$ ) memiliki laju aliran massa tertinggi yaitu  $2.37 \times 10^{-4} \text{Kg/s}$  dan spesimen ABB 3 memiliki nilai laju aliran massa terendah yaitu  $0.28 \times 10^{-4} \text{Kg/s}$ . Hal ini disebabkan oleh ukuran pori yang cukup besar dan porositas yang cukup tinggi pada material ABB 1 ( $400^\circ \text{C}$ ) akan menghasilkan permeabilitas yang cukup besar dan dengan sudut kontak yang paling kecil material akan bersifat lebih hidrofilik (lebih mampu basah) dibandingkan dengan yang lainnya. Dengan demikian, semakin tinggi permeabilitas dan sifat mampu basah (*wettability*) material, maka laju perpindahan massa fluida yang dihasilkan akan semakin besar.

#### 4.7 Laju Perpindahan Panas

Massa air yang mengalir pada material pad *direct evaporative cooling* dengan laju aliran massa yang sama sepanjang material pad akibat daya kapiler material, akan menerima panas sensibel dan panas laten udara luar. perpindahan panas sensibel terjadi antara udara luar dan massa air melalui permukaan material pad, sehingga besarnya laju perpindahan panas sensibel ini, dapat dianggap sama dengan panas yang didapat oleh air yang besarnya tergantung pada laju aliran massa fluida air pada material pad. Dapat dikatakan bahwa panas udara yang diterima air melalui permukaan material pad akan menguapkan air dalam material pad

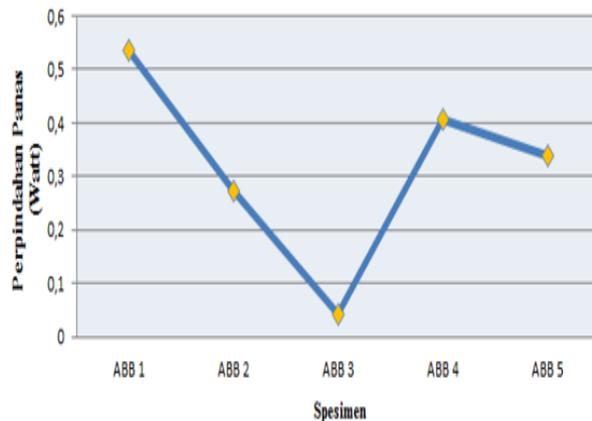
**Tabel 6. Hasil perhitungan laju perpindahan panas**

Nama Spesimen	Permeabilitas $\text{K}(\text{m}^2)$	Laju Aliran Massa $\dot{m}$ (kg/s)	Kalor Laten $L$ (J/Kg)	Laju Perpindahan Panas $Q$ (Watt)
ABB 1	$1.36 \times 10^{-14}$	$23.7 \times 10^{-5}$	2257	0.53
ABB 2	$4.57 \times 10^{-15}$	$12 \times 10^{-5}$	2257	0.27
ABB 3	$1.44 \times 10^{-15}$	$2.8 \times 10^{-5}$	2257	0.04
ABB 4	$6.63 \times 10^{-15}$	$18 \times 10^{-5}$	2257	0.41
ABB 5	$3.88 \times 10^{-15}$	$15 \times 10^{-5}$	2257	0.34

Pada tabel di atas menunjukkan hasil dari perhitungan laju perpindahan panas spesimen arang aktif ABB 1, ABB 2, ABB 3, ABB 4, dan ABB 5 dengan nilai laju perpindahan panas. Berdasarkan

grafik tersebut, ditunjukkan bahwa spesimen ABB 1 memiliki nilai laju perpindahan panas tertinggi yaitu 0.53 Watt dan spesimen ABB 3 memiliki nilai laju perpindahan panas terendah yaitu 0.04 Watt.

Hal ini dikarenakan nilai laju perpindahan panas dipengaruhi oleh nilai laju aliran massa. Semakin tinggi nilai laju perpindahan massa maka semakin tinggi nilai laju perpindahan panas.



**Gambar 4. Grafik perbandingan nilai laju perpindahan panas pada karbon aktif bambu betung**

## 5. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, pengaruh peningkatan temperatur karbonisasi terhadap karakteristik laju aliran massa dan laju perpindahan panas pada arang aktif bambu betung, dapat disimpulkan bahwa spesimen arang aktif bambu ABB 1(400°C) yang dikarbonisasi di suhu 400°C dan diaktivasi di suhu 600°C *holding time* 60 menit potensi besar untuk digunakan sebagai material pad dalam sistem *direct evaporative cooling* karena memiliki nilai laju aliran massa dan laju perpindahan panas yang paling tinggi masing-masing sebesar  $23.7 \times 10^{-5}$  Kg/s dan 0.53 Watt diantara 5 variasi temperatur arang aktif yang telah diuji.

## Daftar Pustaka

- [1] Lago, M. & Araujo, M., 2001, *Capillary Rise In Porous Media*, Physica A: Statistical Mechanics And Its Applications, 234 (1): 35-43.
- [2] Midiani, L.P., Suprpta, I.N.S., Septiadi, W.N., Sucipta, M., 2019, *Characterization of capillary pumping amount in novel sintered zeolites and hybrid zeolite-Cu for heat pipe applications*, International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 145, p. 118759.
- [3] Berti, L., Santos, P., Bazzo, E., Janssen, R., Hotza, D. & Rambo, C., 2011, *Evaluation Of Permeability Of Ceramic Wick Structures For Two Phase Heat Transfer Devices*,

Applied Thermal Engineering, Vol. 31 (6-7): 1076-1081.

- [4] Solomon, A. B., Mahto, A. K., Joy, R. C., Rajan, A. A., Jayprakash, D. A., Dixit, A., & Sahay, A., 2020, *Application Of Bio-Wick In Compact Loop Heat Pipe*, Applied Thermal Engineering, Vol.169, p. 114927..
- [5] Shirazy, M. R., Blais, S. & Fr chet te, L. G.,2012, *Mechanism Of Wettability Transition In Copper Metal Foams: From Superhydrophilic To Hydrophobic*, Applied Surface Science, Vol. 258 (17): 6416-6424.
- [6] Ramkumar, Ramakrishnan, 2017, *Experimental Investigation Of Indirect Evaporative Cooler Using Clay Pipe*, Journal of Thermal Engineering, Vol. 3, No. 2. 1163-1180.

	<p>Manatap H. Ady Siregar menyelesaikan studi program sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2017 sampai 2021. Ia menyelesaikan studi program sarjana dengan topik penelitian <b>Studi Eksperimental Laju Perpindahan Panas dan Laju Aliran Massa Fluida Pada Karbon Aktif Bambu Betung Dengan Temperatur 600°C Holding Time 60 Menit.</b></p>
<p>Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan perpindahan panas, mekanika fluida, dan pendinginan evaporative air cooler.</p>	

# Karakteristik Bahan Bakar Biodiesel Minyak Jelantah Dengan Metode *Partial Hydrogenation*

Magfihza Anugrah Raviery, I Ketut Gede Wirawan, Ainul Ghurri  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

*Biodiesel merupakan alternatif bahan bakar yang berasal dari bahan baku hewani maupun nabati. Dalam kata lain, biodiesel ini merupakan bahan bakar yang bersifat ramah lingkungan, karena bahan dasar yang digunakan antara lain seperti minyak jelantah. Namun, minyak jelantah tidak dapat serta merta digunakan langsung sebagai biodiesel, melainkan harus melalui suatu proses esterifikasi dan transesterifikasi seperti dengan melakukan metode Partial Hydrogenation. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana karakteristik bahan bakar biodiesel minyak jelantah dengan metode Partial Hydrogenation yang meliputi viskositas, densitas, titik nyala, titik tuang, bilangan iodin, dan kandungan asam. Pada penelitian ini, pengujian karakteristik bahan bakar dilakukan dengan metode ASTM D445, ASTM D1298, ASTM D93, ASTM D97, SNI:7182, dan ASTM D664. Dari hasil pengujian biodiesel minyak jelantah yang telah melalui proses Partial Hydrogenation, kualitas biodiesel yang dihasilkan memenuhi syarat baku mutu biodiesel Standar Nasional Indonesia (SNI) tahun 2015. Sementara untuk Densitas dan Flash Point tidak memenuhi syarat baku mutu biodiesel yang berlaku. Hal tersebut dikarenakan hasil pengujian kedua karakteristik tersebut berada dibawah nilai batasan. Jika dibandingkan dengan biodiesel minyak jelantah tanpa melalui proses Partial Hydrogenation terjadi penurunan nilai pada densitas, viskositas, titik nyala dan titik tuang, serta terjadi peningkatan pada nilai kandungan asam.*

*Kata Kunci: Biodiesel, Karakteristik, Minyak Jelantah, Partial Hydrogenation*

## Abstract

*Biodiesel is an alternative fuel derived from animal and vegetable raw materials. In other words, biodiesel is an environmentally friendly fuel, because the basic materials used include jelantah oil. However, jelantah oil cannot be immediately used directly as biodiesel, but rather must go through a process of esterification and transesterification such as by performing the Partial Hydrogenation method. This study aims to find out how the characteristics of biodiesel fuel jelantah oil with the Partial Hydrogenation method which includes viscosity, density, flash point, pour point, iodine number, and acid value. In this study using testing methods ASTM D445, ASTM D1298, ASTM D93, ASTM D97, SNI:7182, and ASTM D664. From the results of biodiesel testing that has been through the Partial Hydrogenation process, the quality of biodiesel produced meets the standard biodiesel quality requirements of the Indonesian National Standard (SNI) in 2015. Meanwhile, density and flash point do not meet the applicable biodiesel quality standards. This is because the test results of both characteristics are below the limit value. When compared to biodiesel oil without going through the Process of Partial Hydrogenation there is a decrease in the value at density, viscosity, flash point and pour point, as well as an increase in the value of acid content.*

*Key words: Biodiesel, Characteristics, Jelantah Oil, Partial Hydrogenation*

## 1. Pendahuluan

Kebutuhan akan mobilitas manusia semakin meningkat. Untuk memenuhi mobilisasi manusia tersebut, dibutuhkan energi yang lebih memadai. Tanpa disadari hal tersebut membuat cadangan minyak yang ada di bumi menjadi semakin berkurang akibat digunakan sebagai salah satu sumber energi utama dalam memenuhi kebutuhan tersebut.

Biodiesel sendiri merupakan alternatif bahan bakar yang berasal dari bahan baku hewani maupun nabati. Dimana energi dari biodiesel ini lebih sedikit menghasilkan karbon atau CO<sub>2</sub> jika dibandingkan dengan bahan bakar solar. Selain itu limbah yang dihasilkan dari proses pembuatan biodiesel ini merupakan gliserin, yang mana dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan sabun. Dalam kata lain, biodiesel ini merupakan bahan bakar yang bersifat ramah lingkungan, karena bahan dasar yang

digunakan antara lain seperti minyak jelantah (minyak goreng bekas) [1]

Pada praktiknya, minyak jelantah tidak dapat serta merta digunakan langsung sebagai biodiesel, melainkan harus melalui suatu proses esterifikasi dan transesterifikasi. Pada biodiesel minyak jelantah yang diolah hanya dengan melalui proses esterifikasi dan transesterifikasi memiliki tingkat kestabilan oksidasi yang rendah. Dimana stabilitas oksidasi merupakan ketahanan biodiesel untuk tidak mengalami degradasi oksidatif yang disebabkan adanya udara dan dipercepat oleh panas dan logam. Hasil oksidasi itu sendiri dapat berupa asam yang akan menyebabkan korosi pada komponen seperti tangki bahan bakar serta dapat menghasilkan padatan yang akan menyumbat filter dan nozzle. Salah satu cara yang telah dikembangkan untuk mengatasi persoalan tersebut adalah dengan melakukan partial hydrogenation [2].

Hidrogenasi (Hydrogenation) menjadi salah satu metode yang digunakan dalam mengolah minyak jelantah sebelum digunakan menjadi biodiesel. Hidrogenasi (Hydrogenation) merupakan suatu proses pengubahan minyak nabati cair menjadi olesan/margarin dengan menggunakan gas hydrogen. Dimana pada proses ini minyak tersebut akan terstabilkan serta mencegah basi akibat oksidasi [3]. Hasil dari proses ini berupa adisi hydrogen ( $H_2$ ) yang umumnya terdiri dari adisi sepasang atom hydrogen ke sebuah molekul. Pada proses Hidrogenasi (Hydrogenation) memerlukan penggunaan katalis, tujuannya agar reaksi dapat berjalan dengan efisien dan dapat digunakan [4]. Dalam hal ini, Partial Hydrogenation menjadi salah satu metode yang baik digunakan dalam meningkatkan stabilitas oksidasi dengan memutus ikatan rangkap pada biodiesel.

Setelah dilakukan metode Partial Hydrogenation pada biodiesel, perlu dilakukan pengujian lanjutan guna mengetahui apakah karakteristik biodiesel tersebut telah memenuhi standarisasi yang berlaku. Diantara beberapa karakteristik yang dimiliki oleh bahan bakar diesel, yang menjadi poin penting adalah viskositas, densitas, *flash point*, *Pour point*, bilangan iodin (*iodine number*) dan kandungan asam (*acid value*) [5].

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Biodiesel

Biodiesel merupakan monoalkil ester dari asam lemak rantai panjang yang terkandung dalam minyak nabati maupun hewani, serta dapat digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel. Biodiesel dapat diperoleh melalui proses esterifikasi dan transesterifikasi, tergantung dari kualitas minyak nabati yang digunakan sebagai bahan baku. Biodiesel merupakan bahan bakar yang bersifat ramah lingkungan dikarenakan energi dari biodiesel ini lebih sedikit menghasilkan karbon atau  $CO_2$  jika dibandingkan dengan bahan bakar solar.

### 2.2 Partial Hydrogenation

Partial Hydrogenation merupakan metode penggunaan hidrogen atau larutan lain yang mengandung hidrogen dengan bantuan katalis dengan tujuan untuk menghilangkan ikatan rangkap dalam rantai karbon biodiesel menjadi ikatan tunggal tak jenuh. Proses Partial Hydrogenation dipengaruhi oleh beberapa parameter, diantaranya seperti waktu, jumlah katalis, tipe katalis, hydrogen, kualitas bahan baku, dan kecepatan dalam proses pengadukan. Proses hidrogenasi dapat dilakukan dengan menggunakan logam-logam transisi sebagai katalis, seperti nikel (Ni), platina (Pt), dan paladium (Pd).

## 3. Metode Penelitian

Penelitian menggunakan alat dan bahan sebagai berikut :

1. Alat Penelitian : *Hotplate Magnetic Stirrer*, Timbangan Massa, Gelas Kimia, Gelas Ukur,

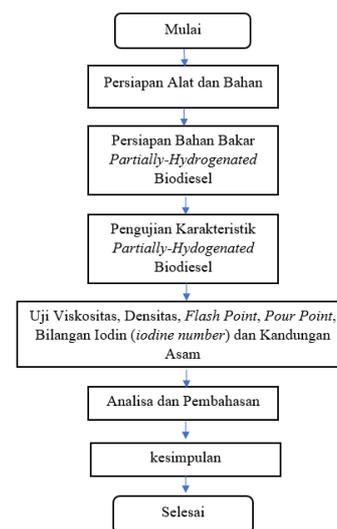
Corong, Saringan, Cannon-Fenske Routine *Viscometer*, Piknometer, Pansky Martens Closes, Tabung Reaksi, Labu Erlenmeyer

2. Bahan Penelitian: Biodiesel Minyak Jelantah, Isopropil Alkohol, Aquades ( $H_2O$ ), Katalis Aluminium Oksida ( $Al_2O_3$ ), *Partially Hydrogenated Biodiesel*

Dalam proses ini, adapun tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Proses Partial Hydrogenation pada biodiesel minyak jelantah
2. Pengujian Kandungan Asam (ASTM D664)
3. Pengujian Viskositas (ASTM D445)
4. Pengujian Densitas (ASTM D1298)
5. Pengujian Flash Point (ASTM D93)
6. Pengujian Bilangan Iodin (SNI:7182)
7. Pengujian Pour Point (ASTM D97)

Berikut adalah diagram alir penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

## 4. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian bahan bakar biodiesel minyak jelantah yang telah diolah melalui proses *Partial Hydrogenation* yang dilakukan di Unit Balai Bahan Bakar dan Rekayasa Desain dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 1. Hasil Pengujian

No.	Karakteristik	Satuan	Batasan	Hasil	Metode Uji
1	Kandungan Asam	mgKOH/g	Maks 0,5	0,23	ASTM D664
2	Densitas 40°C	Kg/cm <sup>3</sup>	850–890	845,3	ASTM D4052
3	Viskositas 40°C	mm <sup>2</sup> /s	2,3–6,0	3,461	ASTM D445
4	<i>Flash Point</i>	°C	min 100	25	ASTM D93
5	<i>Pour Point</i>	°C	maks 18	1	ASTM D97
6	Bilangan Iodin	%-massa	maks 115	34,39	SNI 7182:2015

### 4.1 Kandungan Asam

Berdasarkan data pengujian yang ditampilkan pada tabel 4.1 menunjukkan bahwa Kandungan Asam dari biodiesel minyak jelantah yang telah melalui proses Partial Hydrogenation yaitu 0,23 mgKOH/g.

Pada hakikatnya, hasil pengujian tersebut telah memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) tahun 2015 dengan batasan nilai maksimal 0,5 mgKOH/g. Dalam penelitian yang dilakukan oleh A.A Gede Oka Ardhistira mengenai uji sifat fisik biodiesel minyak jelantah pada tahun 2018 diperoleh nilai Kandungan Asam sebesar 0,2015 mgKOH/gr. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Hadrah, Monik Kasman, Fitria Mayang mengenai Analisis Minyak Jelantah Sebagai Bahan Bakar Biodiesel dengan Proses Transesterifikasi pada tahun 2018 diperoleh nilai Kandungan Asam sebesar 1,22 mgKOH/gr. Dalam penelitian yang dilakukan Lisa Adhani, dkk mengenai Pembuatan Biodiesel dengan Cara Adsorpsi dan Transesterifikasi Dari Minyak Goreng Bekas diperoleh nilai Kandungan Asam sebesar 0,29 mgKOH/g.

#### 4.2 Densitas (Pada Suhu 40°C)

Berdasarkan data pengujian yang ditampilkan pada tabel 4.1 menunjukkan bahwa Densitas dari biodiesel minyak jelantah yang telah melalui proses Partial Hydrogenation yaitu 845,3 Kg/cm<sup>3</sup>. Hasil nilai pengujian tersebut tidak memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) tahun 2015 dengan batasan nilai 850–890 Kg/cm<sup>3</sup>. Dalam penelitian yang dilakukan oleh A.A Gede Oka Ardhistira mengenai uji sifat fisik biodiesel minyak jelantah pada tahun 2018 diperoleh nilai Densitas (Pada Suhu 40 °C) sebesar 861 Kg/cm<sup>3</sup>. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Tatik Fariyah dan Lizda Johar Mawarani mengenai Pengaruh Ukuran Arang Aktif Ampas Tebu sebagai Biomaterial Pretreatment terhadap Karakteristik Biodiesel Minyak Jelantah pada tahun 2013 diperoleh nilai Densitas sebesar 862 kg/cm. Dalam penelitian yang dilakukan Suherna, Gunawan, dan Norista Lambe mengenai Analisis Uji Sifat Fisik Biodiesel (B100) Yang Terbuat Dari Minyak Jelantah pada tahun 2020 diperoleh nilai Densitas sebesar 870 Kg/cm<sup>3</sup>.

#### 4.3 Viskositas (Pada Suhu 40°C)

Berdasarkan data pengujian yang ditampilkan pada tabel 4.1 menunjukkan bahwa Viskositas pada suhu 40°C dari biodiesel minyak jelantah yang telah melalui proses Partial Hydrogenation yaitu 3,461 mm<sup>2</sup>/s. Pada hakikatnya, hasil pengujian tersebut telah memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) tahun 2015 dengan batasan nilai maksimal 2,3–6,0 mm<sup>2</sup>/s. Dalam penelitian yang dilakukan oleh A.A Gede Oka Ardhistira pada tahun 2018 mengenai uji sifat fisik biodiesel minyak jelantah diperoleh nilai Viskositas (Pada Suhu 40°C) sebesar 4,071 mm<sup>2</sup>/s. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Tatik Fariyah dan Lizda Johar Mawarani mengenai Pengaruh Ukuran Arang Aktif Ampas Tebu sebagai Biomaterial Pretreatment terhadap Karakteristik Biodiesel Minyak Jelantah pada tahun 2013 diperoleh nilai Viskositas sebesar 7,665 mm<sup>2</sup>/s. Dalam penelitian yang dilakukan Suherna, Gunawan, dan Norista Lambe mengenai Analisis Uji Sifat Fisik Biodiesel (B100) Yang Terbuat Dari Minyak

Jelantah pada tahun 2020 diperoleh nilai Viskositas sebesar 5,75 mm<sup>2</sup>/s.

#### 4.4 Flash Point

Berdasarkan data pengujian dari bahan bakar biodiesel minyak jelantah yang telah diolah melalui proses partial hydrogenation nilai *Flash Point* berada di bawah temperature ruang, dimana pada suhu 25°C sampel langsung terbakar. Sehingga metode ASTM D93 tidak dapat diaplikasikan pada sampel ini dikarenakan metode tersebut bekerja pada rentang suhu 40-400°C. Hasil nilai pengujian tersebut tidak memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) tahun 2015, dimana batasan nilai minimal adalah 100°C. Dalam penelitian yang dilakukan oleh A.A Gede Oka Ardhistira pada tahun 2018 mengenai uji sifat fisik biodiesel minyak jelantah diperoleh nilai *Flash Point* sebesar 46°C. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Tatik Fariyah dan Lizda Johar Mawarani mengenai Pengaruh Ukuran Arang Aktif Ampas Tebu sebagai Biomaterial Pretreatment terhadap Karakteristik Biodiesel Minyak Jelantah pada tahun 2013 diperoleh nilai *Flash Point* sebesar 171°C. Dalam penelitian yang dilakukan Suherna, Gunawan, dan Norista Lambe mengenai Analisis Uji Sifat Fisik Biodiesel (B100) Yang Terbuat Dari Minyak Jelantah pada tahun 2020 diperoleh nilai *Flash Point* sebesar 175°C.

#### 4.5 Pour Point

Berdasarkan data pengujian yang ditampilkan pada tabel 4.1 menunjukkan bahwa *Pour Point* dari biodiesel minyak jelantah yang telah melalui proses Partial Hydrogenation yaitu 1°C. Pada hakikatnya, hasil pengujian tersebut telah memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) tahun 2015 dengan batasan nilai maksimal 18°C. Dalam penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh A.A Gede Oka Ardhistira pada tahun 2018 mengenai uji sifat fisik biodiesel minyak jelantah diperoleh nilai *Pour Point* sebesar 9°C. Dalam pada penelitian yang dilakukan oleh Tatik Fariyah dan Lizda Johar Mawarani mengenai Pengaruh Ukuran Arang Aktif Ampas Tebu sebagai Biomaterial Pretreatment terhadap Karakteristik Biodiesel Minyak Jelantah pada tahun 2013 diperoleh nilai sebesar 10,7°C. Dalam penelitian yang dilakukan Suherna, Gunawan, dan Norista Lambe mengenai Analisis Uji Sifat Fisik Biodiesel (B100) Yang Terbuat Dari Minyak Jelantah pada tahun 2020 diperoleh nilai *Pour Point* sebesar 6°C.

#### 4.6 Bilangan Iodin

Nilai bilangan iodin pada biodiesel menggambarkan ketidakjenuhan asam lemak penyusun biodiesel. Berdasarkan data pengujian yang ditampilkan pada tabel 4.1 menunjukkan bahwa Bilangan Iodin dari biodiesel minyak jelantah yang telah melalui proses Partial Hydrogenation yaitu 34,39 % massa. Pada hakikatnya, hasil pengujian tersebut telah memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) tahun 2015 dengan batasan nilai maksimal 115% massa. Dalam penelitian yang dilakukan I W. Suirta mengenai Preparasi Biodiesel Dari Minyak

Jelantah Kelapa Sawit pada tahun 2009 diperoleh nilai bilangan iodine sebesar 10,71% massa. Dalam penelitian yang dilakukan Lisa Adhani, dkk mengenai Pembuatan Biodiesel dengan Cara Adsorpsi dan Transesterifikasi Dari Minyak Goreng Bekas diperoleh nilai Bilangan Iodin sebesar 15,71% massa.

### 5. Kesimpulan

Berdasarkan penjabaran hasil dari pengujian biodiesel minyak jelantah yang telah melalui proses Partial Hydrogenation, kualitas biodiesel yang dihasilkan memenuhi syarat baku mutu biodiesel Standar Nasional Indonesia (SNI) tahun 2015 diantaranya seperti Kandungan Asam sebesar 0,23 mgKOH/g dengan batasan nilai maksimal 0,5 mgKOH/g, Viskositas (pada suhu 40°C) sebesar 3,461 mm<sup>2</sup>/s dengan batasan nilai 2,3–6,0 mm<sup>2</sup>/s, *Pour Point* sebesar 1°C dengan batasan nilai maksimal 18°C, serta Bilangan Iodin sebesar 34,39 %massa dengan batasan maksimal 115 %massa. Sementara untuk Densitas dan Flash Point tidak memenuhi syarat baku mutu biodiesel Standar Nasional Indonesia (SNI) tahun 2015. Hal tersebut dikarenakan hasil pengujian kedua karakteristik tersebut berada dibawah nilai batasan yakni: Densitas (pada suhu 40°C) dengan nilai 84,3 Kg/cm<sup>3</sup> dimana batasan nilai SNI 2015 untuk biodiesel adalah 850–890 Kg/cm<sup>3</sup> dan *Flash Point* pada sampel uji terbakar pada suhu 25°C dengan batasan nilai SNI 2015 minimal pada 100 °C.

### Daftar Pustaka

- [1] Darmawan, F. I., 2013, *Proses PProduksi Biodiesel dari Minyak Jelantah dengan Metode Pencucian Dry-Wash Sistem*, Jurnal Teknik Mesin Vol.02 No.01, 80-87
- [2] Ridho, M. R., Wirawan, I. G., & Ghurri, A., 2020, *Pengaruh Variasi Temperatur dan Putaran Pada Proses Partial Hydrogenation Biodiesel Minyak Jelantah Terhadap Stabilitas Oksidas*, Jurnal Ilmiah TEKNIK DESAIN MEKANIKA Vol.9 No.3, 1014-1019.
- [3] Air Products. 2020, *Minyak/Lemak: Hidrogenasi dalam Industri Minyak dan Lemak*, Retrieved from Air Products: <http://www.airproducts.co.id/Industries/Food Beverage/OilsFats/product-list/hydrogenation-oilsfats.aspx?itemId=6C88A8797C704DCD9F5C77435AC7743F>
- [4] Hudlický, M., 1996, *Reductions in Organic Chemistry*, Washington, D.C, American Chemical Society.

- [5] Hardjono, A., 2001, *Teknologi Minyak Bumi*. Yogyakarta, Gadjah Mada University Press.



# Laju Perpindahan Panas Pada Karbon bambu Betung Dengan Variasi Temperatur Karbonisasi 500°C, 600°C, 700°C, dan 800°C

Alex Wardana, Hendra Wijaksana, dan I Ketut Astawa  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit, Jimbaran Bali

## Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik laju perpindahan panas bambu betung sebagai material pad pada sistem direct evaporative cooling. Bambu betung akan di karbonisasi dengan variasi temperatur 500 °C, 600 °C, 700 °C, 800 °C dengan laju temperatur reaktor pemanasan 100 °C/jam. Dari hasil pengujian di dapatkan nilai laju perpindahan panas tertinggi pada spesimen bambu betung dengan temperatur 600 °C sebesar  $21.55 \times 10^{-5}$  watt dan nilai laju perpindahan panas terendah pada spesimen 700 °C sebesar  $7.16 \times 10^{-5}$  watt. Spesimen bambu betung dengan temperatur 600 °C berpotensi menjadi material pad sistem direct evaporative cooling.

Kata Kunci : Direct Evaporative Cooling, Bambu Betung, Karbonisasi, Laju Perpindahan Panas

## Abstract

This study aims to determine the characteristics of the heat transfer rate of bamboo betung as a pad material in a direct evaporative cooling system. Bamboo betung will be carbonized with temperature variations of 500 °C, 600 °C, 700 °C, 800 °C with a heating reactor temperature of 100 °C/hour. From the test results, the highest heat transfer rate value was found in the bamboo betung specimen with a temperature of 600 °C at  $21.55 \times 10^{-5}$  watts and the lowest heat transfer rate value at 700 °C specimen at  $7.16 \times 10^{-5}$  watts. Bamboo betung specimens with a temperature of 600 °C have the potential to be pad materials for direct evaporative cooling systems.

Keywords: Direct Evaporative Cooling, Betung Bamboo, Carbonization, Heat Transfer Rate

## 1. Pendahuluan

Di era modern ini, penggunaan sistem pendingin semakin meningkat seiring dengan kebutuhan hidup manusia, dengan pengaplikasian yang meliputi berbagai aspek kehidupan, dimulai dari sektor industri, komersial, rumah tangga, dan transportasi. Jenis pendingin yang sering kita temukan adalah AC (*Air Conditioning*).

Prinsip kerja AC pada umumnya menyerap panas dari udara di dalam ruangan, kemudian melepaskan panas tersebut di luar ruangan, dengan demikian, temperatur udara di dalam ruangan akan berangsur-angsur turun sehingga dapat menghasilkan temperatur udara yang dingin. Dalam pengoperasiannya, AC memerlukan energi listrik, dan hampir seluruh komponennya memerlukan energi listrik. Disamping kebutuhan energi listrik yang tinggi, penggunaan refrigerant pada sistem AC dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan, dimana akan mengakibatkan pemanasan global. Untuk mengurangi dampak krisis energi dan efek yang di timbulkan oleh AC di perlukan suatu sistem pendingin ruangan yang lebih hemat energi dan ramah lingkungan.

*Evaporative cooling* adalah salah satu sistem pendingin alternatif. *Evaporative cooling* adalah suatu proses pendinginan dimana dalam fase cair berkontak langsung dengan udara dan menghasilkan fase gas. *Direct evaporative cooling* terdiri dari media evaporasi (pad yang dapat dibasahi dan berpori), kipas yang menghembuskan udara melalui media yang dibasahi. *Direct evaporative cooling* merupakan proses pendinginan adiabatik, dimana total entalpi udara konstan selama proses berlangsung. Air menyerap panas sensible dari udara suplai dan menguap menyebabkan suhu udara menurun dan kelembapannya meningkat. Salah satu komponen yang dibutuhkan di dalam sistem *direct evaporative cooling* adalah cooling pad. Cooling pad pada sistem *direct evaporative cooling* adalah material berpori (*porous material*) yang memiliki daya serap dan daya tampung air yang cukup besar untuk bisa terjadinya proses evaporasi pada permukaan material pad. Dengan daya serap dan daya tampung air yang tinggi dari material cooling pad, akan menghasilkan area cooling pad yang terbasahi air yang makin luas, sehingga akan meningkatkan jumlah panas sensible udara suplai yang dibutuhkan untuk menguapkan air tersebut, dan

temperature udara produk menjadi semakin rendah (lebih dingin). Dalam penelitian ini permasalahan yang akan dibahas adalah, bagaimana pengaruh variasi temperatur terhadap karakteristik laju perpindahan panas bambu betung sebagai material pad. Batasan yang di tetapkan di penelitian ini antara lain:

1. Material yang digunakan bambu betung lokal bali
2. Temperatur karbonisasi di tetapkan 500°C, 600°C, 700°C, dan 800°C
3. Proses laju perpindahan panas yang di perhitungkan hanya yang terjadi di pori bambu.

## 2. Dasar Teori

### 2.1. Pembuatan Arang Karbon

Proses pembuatan arang karbon dimulai dari proses pemanasan material bambu betung di oven atau dapur listrik dengan temperatur 105°C selama 6 jam untuk menghilangkan kadar air material bambu betung, kemudian dilakukan proses karbonisasi. Karbonisasi adalah proses pirolisis material organik dalam kondisi bebas oksigen (*inert atmosphere*) yang menghasilkan residu solid yang memiliki kandungan elemen karbon yang tinggi. Tujuan proses karbonisasi adalah meningkatkan kandungan karbon dan menghasilkan porositas awal pada material. Produk dari proses karbonisasi adalah berupa arang (*charcoal*) yang merupakan produk hasil dekomposisi material organik alami atau sintesis.

### 2.2. Kapilaritas

Kapilaritas adalah kemampuan cairan mengalir pada ruang sempit tanpa adanya bantuan atau energi tambahan dan bertentangan dengan kekuatan eksternal seperti gravitasi [1]. Terjadinya kapilaritas disebabkan oleh adanya gaya tarik menarik antara molekul-molekul zat cair dan zat padat, sehingga *porous* media dengan saluran (pori) yang cukup kecil akan menyebabkan terjadinya kombinasi antara tegangan permukaan.

### 2.3. Permeabilitas

Permeabilitas merupakan makroskopik ukuran kemudahan mengalirnya cairan melalui rongga porous material. Permeabilitas di definisikan sebagai kemampuan cairan mengalir melalui lubang porous material.

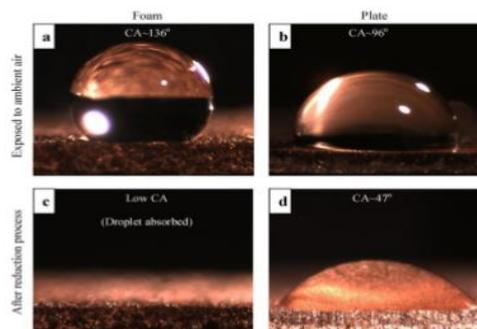
Nilai dari permeabilitas dapat di tentukan dengan rumus berikut:

$$K = \frac{dp^2 \cdot \delta^3}{122(1 - \delta)^2} \quad (1)$$

Dimana K adalah permeabilitas material, dp adalah diameter pori ( $\mu\text{m}$ ), 122 merupakan nilai faktor geometrik arang bambu [2], dan adalah porositas (%).

## 2.4 Wettability

Sifat mampu basah (*wettability*) adalah kemampuan suatu fluida untuk membasahi permukaan zat padat, dan *wettability* sangat mempengaruhi kapilaritas dari suatu material. Untuk dapat memiliki kapilaritas, suatu material harus memiliki sifat mampu basah sebagai syarat utamanya. *Wettability* material dipengaruhi oleh sudut kontak. Semakin kecil sudut kontak yang terbentuk antara fluida dan material padat, maka material tersebut akan memiliki *wettability* yang makin besar [3]. dan sebaliknya *wettability* dan kapilaritas material akan menurun dengan bertambah besarnya sudut kontak.



Gambar 1. Wettability Material

## 2.5 Laju Aliran Massa Fluida

Laju aliran massa fluida dalam hal ini adalah jumlah massa fluida yang dapat dipompakan secara kapiler kedalam material berpori per satuan waktu. Dimana kemampuan nilai laju aliran massa fluida berpengaruh terhadap kemampuan absorpsi air pada material pad yang akan berguna untuk menjamin ketersediaan air dalam material pad, guna berlangsungnya terjadinya proses evaporasi yang menghasilkan efek pendinginan udara.

Dimana  $\dot{m}$  adalah laju aliran massa fluida kapiler dalam material pad, yang besarnya dapat dituliskan sebagai

$$\dot{m} = \frac{\rho_1 \cdot K \cdot A_w}{\mu \cdot l_{eff}} \left\{ \frac{2\sigma_1}{\mu l_{eff}} \csc \theta - \rho_1 \cdot g \cdot l_{eff} \sin \theta \right\} \quad (2)$$

Dimana  $\dot{m}$  adalah laju aliran massa fluida ( $\text{kg/s}$ ), K adalah Permeabilitas sumbu kapiler ( $\text{m}^2$ ),  $r_{eff}$  adalah jari jari efektif pori ( $\mu\text{m}$ ),  $A_w$  adalah Luas Penampang pad ( $\text{m}^2$ ),  $l_{eff}$  adalah panjang efektif pipa kalor ( $\text{m}$ ),  $\sigma$  adalah tegangan permukaan fluida ( $\text{N/m}$ ),  $\mu_1$  adalah viskositas fluida kerja pipa kalor ( $\text{N.s/m}^2$ ),  $\text{Cos}$  adalah sudut kontak *wettability*,  $\text{sin}$  adalah sudut posisi pad, adalah massa jenis fluida ( $\text{Kg/m}^3$ ).

## 2.6 Laju Perpindahan Panas

Laju perpindahan panas yang udara total dapat dianggap sama dengan laju aliran kalor maksimum yang terdapat pada material pad

berdasarkan prinsip kerja sumbu pipa kalor. panas udara akan ditransfer secara konveksi dari udara ke permukaan luar kulit bambu, kemudian panas ini akan ditransfer dari permukaan kulit luar bambu secara konduksi ke permukaan dalam kulit bambu (tebal kulit bambu setelah karbonisasi dan aktivasi kurang lebih 0.3 cm), kemudian dari permukaan kulit dalam bambu, panas ditransfer secara konveksi ke aliran massa fluida, hingga akhirnya terjadi penguapan.

Nilai dari laju perpindahan panas dapat ditentukan dengan rumus berikut :

$$Q_T = \dot{m} \times L \quad (3)$$

Dimana  $Q_T$  adalah laju perpindahan panas maksimum,  $\dot{m}$  adalah laju aliran massa fluida dan  $L$  adalah kalor laten penguapan.

### 3. Metode penelitian

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

#### 3.1. Alat

1. Bambu Betung (*Dendrocalamus Asper*).
2. Timbangan.
3. Peralatan Uji *Scanning Electron Microscope* (SEM).
4. Aluminium Foil.
5. Alat Karbonisasi .
6. Gergaji.
7. Image J.

#### 3.2. Proses Karbonisasi

Adapun tahapan proses karbonisasi sebagai berikut :

1. Bambu betung yang kering di potong dengan ukuran  $P \times L \times T$  : 2.5 cm x 1.7 cm x 3.1 cm, kemudian di panaskan pada oven dengan temperatur 105°C selama 6 jam untuk mengilangkan kadar air.
2. Sampel uji dimasukkan ke dalam reaktor pemanasan untuk proses karbonisasi, reaktor pemanasan di tingkatkan dengan laju 100°C/jam hingga mencapai tempratur 500,600,700,dan 800°C.

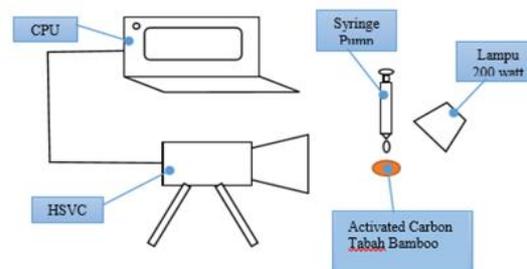
#### 3.3. Pengujian SEM

Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscopoe*) dimaksudkan untuk mendapatkan karakteristik struktur pori sampel KRBB 500, KRBB 600, KRBB 700 dan KRBB 800 yang meliputi ukuran pori, distribusi pori dan porositas sampel.

#### 3.4. Pengujian Sudut Kontak

Pengujian sudut kontak untuk menentukan sifat mampu basah (wettability) dari material yang sudah di karbonisasi. Dengan tahapan arang bamboo diletakan tepat

dibawah syringe pump kemudian di injeksikan air berupa droplet tepat di permukaan pori dan kulit pada seluruh spesimen uji, dan dilakukan pengambilan video menggunakan kamera HSVC (High Speed Video Camera) kemudian dalam bentuk gambar dianalisis dengan aplikasi image J.



Gambar 2. Skematik Pengambilan Data Sudut Kontak

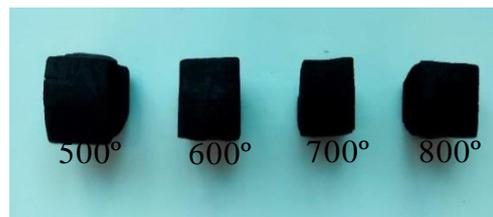
### 3.5. Pengujian Kapilaritas

Pengujian kapilaritas ini bertujuan untuk mengetahui nilai dari porositas. Adapun tahapan pengujian nya yaitu :

1. Timbang spesimen untuk mendapat nilai massa spesimen sebelum menyerap air.
2. Lakukan pengujian dengan menempelkan tisu dipermukaan atas salah satu spesimen yang akan diuji.
3. Mengisi gelas beker dengan air dan letakkan diatas timbangan.
4. Memegang spesimen dengan posisi bagian bawah spesimen menempel dengan permukaan air di gelas beker dan menhidupkan stopwatch.
5. Ketika seluruh bagian tisu sudah basah, matikan stopwatch dan angkat spesimen dari gelas beker dan timbang massa spesimen setelah penyerapan.
6. Catat data ketinggian air (tinggi spesimen), waktu penyerapan, dan perubahan massa air dari sebelum terjadi penyerapan dan sesudah proses penyerapan sebagai data kapilaritas karbon aktif dan tegangan permukaan.

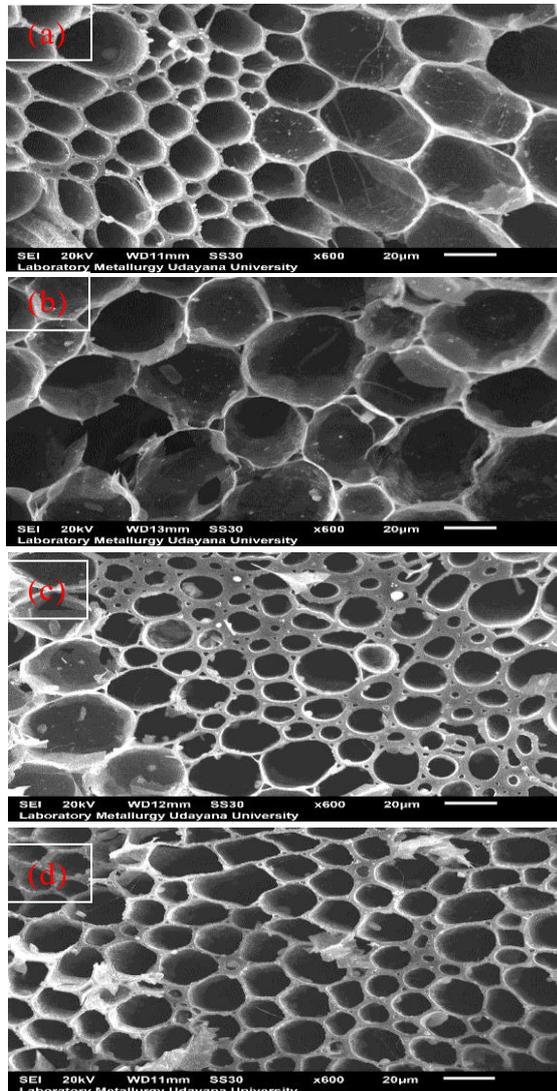
## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1. Karakteristik Struktur Pori



Gambar 3. Spesimen arang aktif bambubetung, AKRB 400, 500, 600, 700 dan 800

Gambar 3 merupakan gambar hasil bambu betung setelah melalui proses karbonisasi dengan variasi temperatur, 500 °C, 600 °C, 700 °C, 800 °C. Spesimen bambu betung yang telah melalui uji SEM di dapatkan struktur pori yang terdiri dari jari-jari pori, luas permukaan pori, distribusi pori, dan volume pori dengan aplikasi Image J.



Gambar 4. Gambar Struktur Pori dari spesimen (a) 500 °C, (b) 600 °C, (c) 700 °C, dan (d) 800 °C

Tabel 1. Data Struktur Pori

Nama Spesimen	Jari-Jari Pori(µm)
KRBB 500	3.52
KRBB 600	4.26
KRBB 700	2.52
KRBB 800	2.91

#### 4.2. Karakteristik Porositas

Porositas ialah perbandingan antara volume pori yang terbentuk pada material dan volume total material. Pada penelitian ini, perhitungan nilai porositas berdasarkan pada perhitungan yang telah dilakukan Midiani [4]. Dimana pengukuran dilakukan dengan mengukur massa awal spesimen saat dalam keadaan kering dan massa akhir spesimen saat jenuh dengan air. Pengurangan antara keduanya adalah volume air yang terserap atau volume rongga yang ada pada arang. Dimana volume pori diketahui dari hasil perkalian volume air yang terserap dengan volume spesifik air saat jenuh. Diketahui volume spesifik air saat jenuh adalah 1003 mm<sup>3</sup>/gr.

Tabel 2. Data porositas material

Nama Spesimen	Massa Awal (gr)	Massa Akhir (gr)	Massa Air Yang Terserap (gr)
KRBB500	3.14	6.5056	3.3656
KRBB600	3.06	6.0655	3.0055
KRBB700	2.26	4.7264	2.4664
KRBB800	2.96	5.1967	2.2367

Volume Pori (cm <sup>3</sup> )	Volume Material (cm <sup>3</sup> )	Porositas (%)
3.3755621	19.465	17.341701
3.0143962	16.923	17.812422
2.4737005	15.008	16.482254
2.2433206	12.354	18.158658

#### 4.3. Sudut Kontak

Pengukuran sudut kontak yang di gunakan pada penelitian ini, berdasarkan pada pengukuran yang telah dilakukan Xu [5]. Pengukuran dengan cara menambahkan garis bantu antara permukaan pori bambu betung dan menambahkan garis bantu yang menyinggung busur lingkaran pada droplet sehingga kedua garis bantu membentuk sudut. dengan aplikasi image j.

Tabel 3. Data sudut kontak dan jari pori efektif

Nama spesimen	Sudut Kontak(°)	Jari-jari Pori Efektif (m)
KRBB 500	19.279	0.00000373
KRBB 600	21.809	0.00000459
KRBB 700	32.658	0.00000301
KRBB 800	30.498	0.00000338

#### 4.4. Karakteristik Permeabilitas

Permeabilitas diartikan sebagai kemampuan cairan mengalir melalui lubang porous material, dengan kata lain permeabilitas mencerminkan efektivitas interaksi antara cairan dan porous material, dan bukan merupakan properti dari cairan ataupun porous material [6].

Nilai permeabilitas dipengaruhi oleh nilai porositas dan diameter pori dari spesimen arang bambu betung. Spesimen yang memiliki diameter pori dan porositas yang besar akan menghasilkan permeabilitas yang lebih besar

Tabel 4. Tabel nilai permeabilitas spesimen

Spesimen	Faktor geometrik	Diameter pori (mm)	Porositas (%)	Permeabilitas ( $m^2$ ) $10^{-15}$
KRBB 500	122	7.04	0.173	3.1
KRBB 600	122	8.52	0.178	4.98
KRBB 700	122	5.05	0.165	1.35
KRBB 800	122	5.82	0.182	2.48

#### 4.5. Karakteristik Laju Aliran Massa

Tabel 5. Hasil perhitungan laju aliran massa fluida

Nama Spesimen	K ( $m^2$ ) $10^{-15}$	$l_{eff}$ (m)	$A_w$ (m)
KRBB 500	3.1	0.0296	0.000658
KRBB 600	4.98	0.0283	0.000598
KRBB 700	1.35	0.0286	0.000525
KRBB 800	2.48	0.0246	0.000502

$r_{eff}$ (m)	Sudut kontak (°)	$\dot{m}$ (kg/s) $10^{-8}$
0.00000373	19.28	8.55
0.00000459	21.81	9.55
0.00000301	32.66	3.17
0.00000338	30.49	4.38

Dalam menentukan besarnya laju aliran massa fluida pada material arang bambu betung terdapat beberapa pengujian seperti yang telah dilakukan sebelumnya yaitu wettability untuk mendapatkan nilai sudut kontak, uji permeabilitas, uji scanning electron microscope (SEM) untuk mendapatkan struktur pori, dan uji kapilaritas untuk mendapatkan tegangan permukaan.

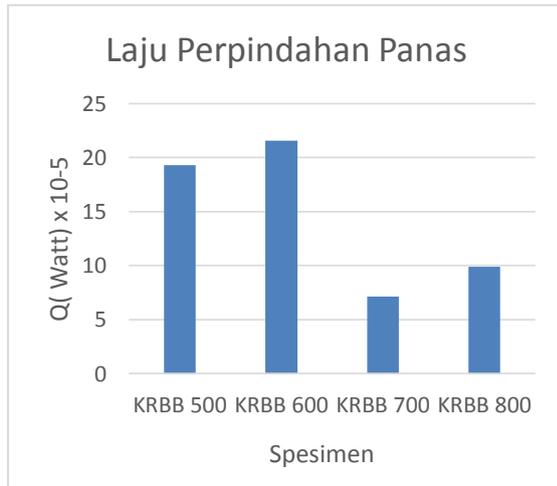
#### 4.6. Laju Perpindahan Panas

Laju perpindahan panas yang di perhitungkan hanya yang terjadi di pori bambu saja, untuk mengetahui besarnya nilai laju perpindahan pans di butuhkan nilai  $\dot{m}$ .

Tabel 6. Hasil Perhitungan Laju Perpindahan Panas

Nama Spesimen	L (joule/k )	$\dot{m}$ (kg/s) $10^{-8}$	Q (Watt) $10^{-5}$
KRBB 500	2257	8.55	19.30
KRBB 600	2257	9.55	21.55
KRBB 700	2257	3.17	7.16
KRBB 800	2257	4.38	9.89

Berdasarkan tabel 6, ditunjukkan bahwa spesimen KRBB 600 memiliki nilai laju perpindahan panas tertinggi yaitu  $21.55 \times 10^{-5}$  watt dan spesimen KRBB 700 memiliki nilai laju perpindahan panas terendah yaitu  $7.16 \times 10^{-5}$  watt. Hal ini disebabkan oleh ukuran pori yang cukup besar dan porositas yang cukup tinggi pada material KRBB 600 menghasilkan permeabilitas yang paling besar dan dengan sudut kontaknya yang kecil material bersifat lebih hidrofilik (lebih mampu basah) dibandingkan dengan yang lainnya. Dengan demikian, semakin tinggi permeabilitas dan sifat mampu basah (wettability) material, menghasilkan laju aliran massa fluida yang besar, maka menghasilkan laju perpindahan panas yang besar.



Gambar 5. Grafik Nilai Laju Perpindahan Panas

## 5. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat di simpulkan spesimen dengan temperatur karbonisasi 600°C (KRBB 600) memiliki karakteristik laju perpindahan panas tertinggi yaitu sebesar  $21.55 \times 10^{-5}$  watt sedangkan laju perpindahan panas terkecil dihasilkan oleh Spesimen dengan temperatur karbonisasi 700°C (KRBB 700) yaitu sebesar  $7.16 \times 10^{-5}$  watt. Dengan karakteristik laju perpindahan panas tertinggi yang dimiliki oleh Spesimen dengan temperatur karbonisasi 600°C (KRBB 600), maka material ini sangat berpotensi digunakan sebagai material pad sistim direct evaporative cooling, karena mampu menyerap panas udara lebih banyak, sehingga proses evaporasi pada material pad menjadi semakin besar dan menghasilkan efek pendinginan yang lebih besar pula.

## Daftar Pustaka

- [1] Lago, M., Araujo, M., 2001, *Capillary Rise In Porous Media*, Physica A: Statistical Mechanics And Its Applications, 289, 1-17.
- [2] Solomon A. B., Mahto, A. K., Joy, R. C., Rajan A. A., Jayprakash D. A., Dixit A., Sahay A., 2020, *Application of bio-wick in compact loop heat pip*, Applied Thermal Engineering, 169, 114927.
- [3] Shirazy M. R., Blais S., Fréchet L. G., 2012, *Mechanism Of Wettability Transition In Copper Metal Foams: From Superhydrophilic To Hydrophobic*, Applied Surface Science, 258, 6416-6424.

- [4] Midiani L.P., Suprpta IN.S., Septiadi, W.N., Sucipta M., 2019, *Characterization of capillary pumping amount in novel sintered zeolites and hybrid zeolite-Cu for heat pipe applications*, International Journal of Heat and Mass Transfer, Volume 145.
- [5] Xu B., Liu D., Xu, G., Zhang X., Bi L., 2013, *A Measurement Method For Contact Angle Based On Hough Transformation*. *Measurement*, 46, 1109-1114.
- [6] Berti L.F., Bazzo E., Santos P.H.D., Janssen R., 2011, *Evaluation of permeability of ceramic wick structures for two phase heat transfer devices*.



Alex Wardana menyelesaikan studi program sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2017 sampai 2021. Ia menyelesaikan program sarjana dengan topik penelitian: Laju Perpindahan Panas Pada Bambu Betung Dengan Variasi Temperatur Karbonisasi 500, 600, 700, 800°C

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

# Pembuatan Biogas Dari Kotoran Gajah

I Ketut Anggoro Putra, I.G.B. Wijaya Kusuma, I.W. Bandem Adnyana  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

Biogas adalah gas yang mudah terbakar (*Flammable*) yang dihasilkan dari proses fermentasi bahan-bahan organik oleh bakteri *Anaerobic*. Tapi untuk pembentukan biogas diperlukan waktu cukup lama yaitu dari 7 sampai 16 hari. Pembentukan biogas dilakukan oleh bakteri *termophilic* di siang hari, karena bakteri ini dapat bertahan hidup hingga temperatur 54,4°C. pada malam hari pembentukan biogas dilakukan bakteri *mesophilic* dengan temperatur pembentukan biogas maksimal pada temperatur 36,7°C. Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian terhadap kotoran gajah sebagai bahan biogas dengan perbandingan 1:1 dengan air. Ada 4 pengujian yang akan dilakukan, yang pertama yaitu campuran kotoran dengan air dengan penambahan jerami kering dan dengan pemanasan konstan sebesar 54°C, yang ke 2 campuran kotoran dengan air tanpa jerami dan dengan pemanasan konstan 54°C, yang ke 3 campuran kotoran dengan air dengan penambahan jerami kering tanpa pemanasan, dan yang terakhir campuran kotoran dengan air tanpa jerami kering dan tanpa pemanasan dan dilakukan selama 20 hari. Selama 20 hari pengujian terjadi kenaikan biogas pada digester 1 di hari pertama dengan laju pembentukan sebesar 15mm/hari, pada digester 2 terjadi kenaikan biogas di hari pertama dengan laju pembentukan biogas sebesar 13mm/hari, digester 3 terjadi kenaikan biogas di hari ke 3 dengan laju pembentukan sebesar 3mm/hari, dan digester 4 terjadi kenaikan biogas di hari ke 3 dengan laju pembentukan sebesar 2mm/hari. didapat kenaikan pada digester 1 lebih baik dari digester 2 digester 3 dan digester 4 dan kenaikannya tetap konstan karena temperaturnya tetap terjaga konstan.

Kata Kunci : Biogas, Kotoran Gajah

## Abstract

Biogas is flammable gas that is produced from the fermentation process of organic materials by anaerobic bacteria. But for the formation of biogas it takes quite a long time, for 7 to 16 days. The formation of biogas is carried out by thermophilic bacteria during the day, because these bacteria can survive up to a temperature of 54,4°C. at night the formation is carried out by mesophilic bacteria with the optimal temperature for the formation of biogas at a temperature of 36,7°C. In this research, elephant dung will be tested as a biogas material with a ratio of 1:1 with water. There are 4 tests to be carried out, the first is a mixture of manure with water with the addition of dry straw and with a constant heating of 54°C, the second is a mixture of manure with water without straw and a constant heating of 54°C, the third is a mixture of manure and water with addition of dry straw without heating, and the last mixture of manure with water without dry straw and without heating and carried out for 20 days. During 20 days of testing there was an increase in biogas in digester 1 on the first day with a formation rate of 15mm/day, in digester 2 there was an increase in biogas on the first day with a biogas formation rate of 13mm/day, in digester 3 there was an increase in biogas on day 3 at a rate formation of 3mm/day, and in digester 4 there was an increase in biogas on day 3 with a formation rate of 2mm/day. It was found that the increase in digester 1 was better than in digester 2 digester 3 and digester 4 the increase remained constant because the temperature was kept constant.

Keywords : Biogas, Elephant dirty.

## 1. Pendahuluan

Sumber energi utama yang digunakan di berbagai negara saat ini merupakan minyak dan gas bumi, dimana karena semakin banyaknya eksploitasi yang dilakukan, maka keberadaannya pun semakin terancam dan harganya pun menjadi semakin meningkat. Karena ini minyak bumi menjadi salah satu faktor penyebab penurunannya perekonomian masyarakat di Indonesia [1]. Ini dikarenakan minyak bumi merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui dan keberadaan minyak bumi juga akan semakin berkurang.

Sementara itu cadangan gas bumi di Indonesia diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 18 tahun, yang berarti tahun 2038 Indonesia akan mengimpor gas bumi untuk konsumsi di dalam negerinya. Apabila kebutuhan semua energi tersebut dihitung,

maka terjadi peningkatan pada Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara (APBN) yang hanya untuk memenuhi konsumsi energi masyarakat di Indonesia [1]. Apabila ketergantungan masyarakat di Indonesia dalam penggunaan gas bumi tetap seperti saat ini, maka beban yang ditanggung oleh masyarakat menjadi sangat luar biasa besar. inilah yang menjadi tantangan bagi para cendekiawan dan masyarakat Indonesia untuk mencari bahan bakar alternatif yang murah, dan tentunya mudah untuk didapatkan. Diantara energi alternatif yang bisa dilakukan masyarakat, salah satunya adalah teknologi Biogas.

Biogas adalah gas yang mudah terbakar (*Flammable*) yang dihasilkan dari proses fermentasi bahan-bahan organik oleh bakteri *Anaerobic* (bakteri yang hidup dalam kondisi kedap udara). Tetapi untuk pembentukan biogas diperlukan waktu yang cukup lama, yaitu dari 7 sampai 16 hari [1], dikarenakan

dalam proses fermentasi kotoran oleh bakteri pencerna membutuhkan temperatur tertentu. Wilayah Indonesia yang dimulai dari wilayah Jawa Timur sampai Nusa Tenggara Timur adalah wilayah yang paling berpotensi untuk mengembangkan teknologi biogas, dilihat dari tingginya populasi hewan ternak di wilayah bagian timur Indonesia ini [2]. Tetapi hal penting yang harus disadari ialah peternakan di wilayah tersebut rata-rata dilakukan yaitu tanpa dikandangan serta pakan ternak yang diberikan tidak kontinyu. Yang dimana tidak dilakukannya pemeliharaan dengan baik. ini akan berdampak pada jenis kotoran yang akan dihasilkan serta diduga akan berpengaruh pada laju pembentukan biogasnya.

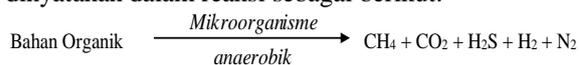
Sekarang ini, kotoran hewan yang ada di Bali Zoo lebih banyak digunakan sebagai pupuk kandang, yang mana kotoran tersebut seharusnya bisa diolah menjadi biogas sebelum dijadikan pupuk kandang. Kotoran hewan yang diijinkan untuk diambil dijadikan untuk biogas diantaranya ada gajah, rusa dan burung. Pada penelitian ini akan menggunakan kotoran gajah sebagai bahan dasar untuk pembuatan biogas, karena kotoran gajah yang paling mudah untuk di kumpulkan dan jumlah kotor yang lebih besar dibandingkan dengan rusa dan burung yang tentunya tetap aman untuk binatang di Bali Zoo. Biogas di buat dengan mengambil masalah untuk kotoran hewan di wilayah kebun binatang (Bali Zoo) dengan temperatur rata-rata sekitar 27°C, yang dimana temperatur pada musim kemarau dapat mencapai sekitar 30°C. untuk mengetahui laju pembentukan biogas di wilayah kebun binatang Bali Zoo tersebut maka pada penelitian ini dirancang reaktor pada temperatur maksimum yaitu pada temperatur 54°C karena pada temperatur ini adalah temperatur tertinggi yang dapat diterima bakteri pembentuk gas metan. Di atas temperatur tersebut pembentuk gas metan akan mati, sehingga tidak akan dihasilkan gas metan dari kotoran hewan. Pada penelitian ini juga akan dilakukan pengujian laju pembakaran biogas yang bertujuan untuk mengetahui seberapa efektivitas dari pembakaran bahan bakar biogas kotoran gajah yang dihasilkan.

Untuk menjaga temperatur reaktor tetap konstan, maka reaktor akan dilapisi dengan bahan polysterofom dan untuk menjaga agar temperatur tidak melebihi 54°C polysterofom akan dilubangi pada bagian bawah agar temperatur yang berlebihan dapat keluar melalui bagian bawah polysterofom. Reaktor juga akan ditambahkan unit pemanas berupa lampu pijar untuk membantu pemanasan. Dengan menggunakan metode tersebut maka diharapkan pembentukan biogas hanya karena dipengaruhi oleh temperatur reaktor yang dimana temperatur konstan tersebut diprediksi akan dapat meningkatkan laju pembentukan biogas [3].

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Tinjauan Umum

Pembentukan biogas berlangsung melalui suatu proses fermentasi anaerobik yaitu tidak berhubungan dengan udara bebas. Proses fermentasi merupakan suatu reaksi oksidasi-reduksi di dalam sistem biologi yang menghasilkan energi, dimana sebagai donor dan akseptor elektronnya digunakan senyawa organik. Fermentasi anaerobik hanya dapat dilakukan oleh mikroba yang dapat menggunakan molekul lain selain oksigen sebagai akseptor elektronnya. Fermentasi anaerobik menghasilkan biogas yang terdiri dari 50-70 persen metana, 25-45 persen karbon dioksida, hydrogen, nitrogen, dan hydrogen sulfide [3]. Keseluruhan reaksi pembentukan biogas dinyatakan dalam reaksi sebagai berikut.



### Gambar 1. Reaksi pembentukan biogas

Biogas dihasilkan dari fermentasi anaerob yaitu oleh bakteri metanogenesis pada bahan-bahan organik yaitu seperti tumbuh-tumbuhan, buah-buahan, kotoran manusia, dan kotoran hewan, yang merupakan campuran gas metana (60-70%), CO<sub>2</sub>, dan gas lainnya. Komposisi biogas bervariasi tergantung pada limbah organik dan proses fermentasi anaerob dengan komposisi lengkap yaitu seperti tabel di bawah.

Table 1. Komposisi biogas

KOMPONEN	%
Metana (CH <sub>4</sub> )	55-75
Karbon dioksida (CO <sub>2</sub> )	25-45
Nitrogen (N <sub>2</sub> )	0-0,3
Hidrogen (H <sub>2</sub> )	1-5
Hidrogen Sulfida (H <sub>2</sub> S)	0-3
Oksigen (O <sub>2</sub> )	0,1-0,5

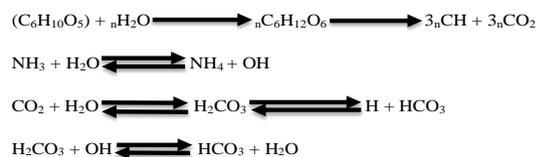
### 2.2 Karakteristik Pakan Ternak

Sel tumbuhan yang mengandung lemak, gula, asam organik, dan bahan-bahan larut didalam air seperti protein terlarut, pati, senyawa nitrogen non protein dan pektin. Rumput dan jerami (legume) yaitu sebagian dari pakan gajah yang mengandung selulosa, hemi selulosa, lignin, dan pektin. Rumput tropika memiliki lebih banyak lignin dari pada rumput di daerah beriklim sedang. Legume mempunyai kandungan lignin yang sangat tinggi yaitu lebih dari 10%.

Selulosa, hemi selulosa, dan peptin dapat dicerna dengan baik, dan sedangkan lignin tidak dapat dicerna sama sekali. Lignin mempengaruhi proses pencernaan hanya jika berada dalam dinding sel. inilah yang menyebabkan rumput dengan kandungan lignin rendah tapi mempunyai lebih banyak dinding sel kurang dapat dicerna dibandingkan legume yang mempunyai lignin lebih banyak. Dua hal ini disebabkan legume rata-rata mempunyai kandungan dinding sel yang lebih rendah dari pada rumput.

### 2.3 Proses Fermentasi Anaerobik

Proses fermentasi anaerobik dibagi dalam tiga tahap. Tahap pertama yaitu reduksi senyawa organik yang kompleks menjadi senyawa sederhana oleh bakteri hidrolitik, yang bekerja pada suhu antara 30-40°C untuk kelompok mesofilik dan suhu 50-60°C untuk kelompok termofilik. Tahap pertama proses fermentasi berlangsung dengan pH optimal yaitu antara 6 sampai 7. Pada tahap kedua, organisme pembentuk asam merubah senyawa sederhana dari tahap pertama di bagian atas menjadi asam organik mudah menguap yaitu menjadi asam asetat, asam butirat, asam propionate. Tahap ketiga adalah tahap konversi asam organik menjadi metan, CO<sub>2</sub> dan gas lainnya dalam jumlah sedikit oleh bakteri metan. Bakteri metana sangat sensitif terhadap perubahan suhu dan pH, oleh karena itu maka kedua parameter harus dapat dikendalikan dengan baik. pH optimal yaitu adalah antara 7.0-7.2, sedangkan pada pH 6.2 bakteri metan akan mengalami keracunan. Reaksi pembentukan buffer dalam sistem fermentasi anaerobik dapat diterangkan melalui persamaan reaksi berikut :



**Gambar 2. Reaksi pembentukan buffer**

## 2.4 Proses Produksi Biogas

Proses produksi biogas biasanya dilakukan yaitu secara semi sinambung (substrat dimasukan satu kali dalam waktu tertentu), tapi untuk mendapatkan kemungkinan metode produksi yang optimal, sistem batch (suatrat hanya dimasukkan satu kali) juga dapat digunakan.

## 2.5 Kondisi Lingkungan Yang Mempengaruhi Produksi

Yang pertama adalah suhu, terdapat dua selang optimum untuk produksi biogas, yaitu selang mesofilik, 30-40°C dan selang termofilik, 50-60°C. pengalaman di Cina menunjukan bahwa selama musim dingin dimana suhu udara antara 0-70°C dan suhu digester 10°C, biogas masih dapat diproduksi. Menurut Patel dan Patel [4], pada suhu yang lebih tinggi kecepatan produksi biogas akan lebih besar

Yang kedua adalah besaran pH, pH optimal untuk produksi biogas adalah sekitar 5,5

Yang ketiga adalah total padatan, menurut Singh [4], kandungan padatan optimal adalah antara 7-9 %.

Yang keempat adalah rasio C/N, menurut Singh [4], menyarankan agar rasio C/N substrat berkisar antara 25 : 1 dan 30 : 1. Besaran rasio C/N yang tinggi akan menaikkan kecepatan perombakan, tetapi bunganya (sludge) akan memiliki kandungan nitrogen yang tinggi. Substrat dengan rasio C/N yang rendah akan menyisakan banyak nitrogen yang akan berubah menjadi ammonia dan akan meracuni

bakteri. Pencampuran limbah pertanian dengan kotoran ternak akan merubah rasio C/N untuk produksi gas lebih baik.

## 2.6 Proses Pembentukan Biogas

Pembentukan biogas merupakan proses biologis. Bahan dasar berupa bahan organik akan berfungsi sebagai sumber karbon yang merupakan sumber kegiatan dan pertumbuhan bakteri. Bakteri yang berpengaruh dalam perombakan ini ada dua macam, yang pertama bakteri pembentuk asam dan bakteri-bakteri pembentuk gas metan. Kedua Bakteri-bakteri pembentuk asam merombak bahan organik dan menghasilkan asam-asam lemak. Selanjutnya asam-asam lemak ini akan dirombak oleh bakteri-bakteri metan dan menghasilkan biogas (yang sebagian besar menghasilkan gas metan).

## 2.7 Laju Pembakaran

Pengujian laju pembakaran dilakukan berfungsi untuk mengetahui seberapa efektifitas dari suatu bahan bakar (biogas kotoran gajah). Hal ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana kelayakan dari bahan bakar biogas yang diuji sehingga dalam aplikasinya bisa digunakan dengan baik. Pengujian laju pembakaran biogas kotoran gajah dilakukan dengan cara manual, dengan menghitung lama pemanasan 500 ml air sampai mencapai temperatur 100°C dan dibandingkan dengan laju pembakaran gas LPG. Jadi kita akan mengetahui perbandingan laju pembakaran biogas kotoran gajah dengan gas LPG sampai mencapai temperatur 100°C dengan waktu tertentu.

## 3. Metode Penelitian

### 3.1 Deskripsi Penelitian

Pada penelitian ini akan dilakukan perancangan reaktor dengan temperantur yang konstan yaitu sebesar 54°C, karena pada temperatur 54°C adalah temperatur tertinggi yang dapat diterima oleh bakteri pembentuk gas metan. Secara teori di atas temperatur 54°C bakteri pembentuk gas metan akan mati, sehingga tidak akan dihasilkan gas metan dari kotoran Gajah.

### 3.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan pada penelitian ini, yang pertama adalah variabel bebas yaitu variabel yang menyebabkan adanya perubahan pada variabel lainnya. Berikut adalah variabel bebas dalam penelitian ini yaitu campuran kotoran ternak terhadap air. Variabel terikat yaitu variabel yang mempengaruhi perubahan pada variabel bebas. Berikut adalah variabel terikat pada penelitian ini, antara lain volume biogas, tekanan biogas, dan laju pembentukan biogas. Variabel konstan pada penelitian ini adalah temperatur digester 54°C.

### 3.3 Jenis Data Penelitian

#### 3.3.1 Data Primer

Data primer yaitu data yang diperoleh secara langsung berdasarkan hasil pengamatan suatu objek. Data primer dalam penelitian ini diperoleh dari kebun binatang Bali Zoo, berikut adalah data primer yang

diperoleh, adalah massa kotoran yang dihasilkan setiap hari yakni sebanyak 195 kg.

### 3.3.2 Data Sekunder

Data sekunder adalah kumpulan data teoritis, dalam penelitian ini data sekunder diperoleh berdasarkan studi literatur seperti jurnal ilmiah, artikel, dan laporan yang berkaitan dengan materi penelitian.

### 3.4 Alat dan Bahan

Untuk mendapatkan data-data penelitian ini dibutuhkan alat dan bahan seperti thermostart yang berfungsi untuk mengukur suhu di dalam reaktor dan suhu lingkungan di sekitar reaktor, pengukur tekanan yang berfungsi untuk mengukur tekanan gas yang dihasilkan di dalam reaktor, alat pengukur volume, jerigen yang memiliki kapasitas 20 liter, polysterofoam yang berfungsi untuk membungkus reaktor agar suhu tetap terjaga, kotoran Gajah yang sudah di bersihkan dari batu dan rumput-rumput yang menempel di kotoran, lampu pijar yang berfungsi untuk pemanas.



Gambar 3. Reaktor biogas

### 3.5 Rancangan

Pekerjaan yang akan dilakukan adalah menguji temperatur reaktor agar tetap konstan sebesar 54°C. ini dilakukan dengan cara membungkus reaktor menggunakan polysterofoam dan ditambahkan lampu pijar. Untuk melihat pengaruh dari pemanasan reaktor dan jenis kotoran terhadap laju pembentukan biogas, maka dibuat beberapa pengujian yaitu sebagai berikut:

1. Reaktor dengan volume 20 liter yang diisi dengan slurry sebanyak 14 kg dan dicampur merata dengan jerami kering sebanyak 500 gram, dengan pemanasan konstan pada temperatur 54°C.
2. Reaktor dengan volume 20 liter yang diisi dengan slurry sebanyak 14 kg, dengan pemanasan konstan pada temperatur 54°C.
3. Reaktor dengan volume 20 liter yang diisi dengan slurry sebanyak 14 kg dan dicampur merata dengan jerami kering sebanyak 500 gram, tanpa pemanasan.
4. Reaktor dengan volume 20 liter yang diisi dengan slurry sebanyak 14 kg tanpa pemanasan dan tanpa jerami kering.

Adapun yang diamati dalam pengujian tersebut yaitu temperatur reaktor, tekanan dan volume biogas yang terbentuk. Untuk mengetahui unjuk kerja yang

dihasilkan maka dilakukan pengujian laju pembakaran dengan menggunakan fluida kerja air. Dalam laju pembakaran ini maka akan dihitung besarnya temperatur yang dicapai dalam selang waktu tertentu untuk memanaskan air dengan volume 500 ml. hasil dari laju pemanasan air dengan bahan bakar biogas selanjutnya diolah secara numerik.

### 3.6 Tempat dan Waktu Penelitian

Pengambilan data pada penelitian ini bertempat di Bali Zoo Park, yang berlokasi di Jl. Raya Singapadu, Sukawati, Gianyar. Waktu penelitian di mulai dari bulan Oktober 2020 sampai maret 2021.

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1 Pembahasan

#### 4.1.1 Pemanas

Pemanas dibuat dengan menggunakan polysterofoam dengan ketebalan 3cm, dan dibentuk persegi dengan lebar 50cm dan tinggi 55cm. pemanas diisi dengan 5 buah lampu pijar 15 watt yang dipasang di setiap sisi dan di bagian atas. Untuk menjaga temperatur di digester tetap konstan pemanas dipasang sklar thermostart seperti disajikan pada Gambar 4.1.



Gambar 4. Pemanas dengan temperatur konstan sebesar 54°C

#### 4.1.2 Campuran limbah (Slurry)

Campuran limbah atau *slurry* dibuat dengan perbandingan 1:1. Pada penelitian ini dibuat 2 jenis campuran limbah, yang pertama campuran limbah tanpa tambahan jerami kering dan yang kedua campuran limbah dengan penambahan jerami kering sebanyak 500 gram. Sebelum pembuatan limbah *slurry* dilakukan pembersihan pada kotoran gajah dari batu maupun rumput yang menempel pada kotoran gajah seperti yang disajikan pada gambar 4.2.



Gambar 5. Campuran limbah (Slurry) dengan perbandingan 1:1

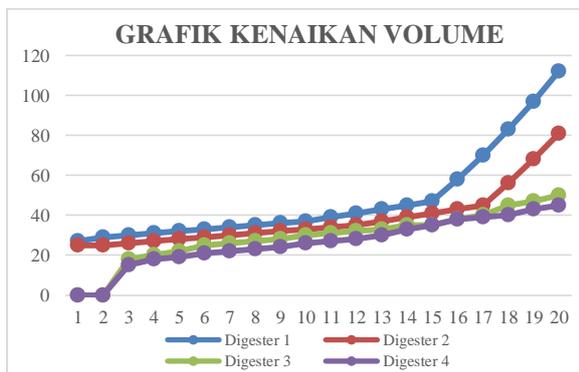
#### 4.2.1. Data Volume Yang Didapat

dilakukan pengujian selama 20 hari didapat data kenaikan biogas kotoran gajah setiap harinya

yang diukur setiap jam 2 siang, dan data temperatur digester pada digester 1 dan digester 2.

**Tabel 2. data kenaikan biogas dan temperatur digester 1 dan digester 2**

Hari	digester 1	digester 2	digester 3	digester 4	temperatur digester 1	temperatur digester 2
hari 1	27	25	0	0	53,3°C	53,9°C
hari 2	29	25	0	0	53,8°C	53,6°C
hari 3	30	26	18	15	54,0°C	53,9°C
hari 4	31	27	20	18	54,0°C	53,7°C
hari 5	32	28	22	19	53,7°C	53,9°C
hari 6	33	29	25	21	54,0°C	53,9°C
hari 7	34	30	26	22	53,7°C	53,7°C
hari 8	35	31	27	23	57,7°C	53,7°C
hari 9	36	32	28	24	54,0°C	53,7°C
hari 10	37	33	30	26	53,8°C	53,9°C
hari 11	39	34	31	27	53,9°C	53,9°C
hari 12	41	35	32	28	53,6°C	53,8°C
hari 13	43	37	33	30	54,0°C	53,7°C
hari 14	45	39	34	33	53,9°C	53,9°C
hari 15	47	41	35	36	53,8°C	54,0°C
hari 16	58	43	38	38	53,9°C	53,8°C
hari 17	70	45	40	39	54,0°C	53,9°C
hari 18	83	56	45	40	53,7°C	53,9°C
hari 19	97	68	47	43	53,7°C	53,7°C
hari 20	112	81	50	45	53,9°C	53,7°C



**Gambar 6. Grafik perbandingan volume digester 1,2,3 dan 4**

#### 4.2.2 Perhitungan Tekanan Biogas

Setelah dilakukan penelitian selama 20 hari didapat data kenaikan volume biogas setiap harinya. Data volume ini akan digunakan untuk menghitung tekanan yang dihasilkan oleh biogas kotoran gajah. Perhitungan tekanan biogas dengan menggunakan rumus :

$$P = \rho \times g \times h$$

Dimana :  $\rho$  = massa jenis biogas = 0,25 m/s

$g$  = gravitasi = 9,81 m/s

$h$  = Panjang kenaikan yodium  $\times \sin 15$

Berikut adalah perhitungan tekanan biogas kotoran gajah dengan menggunakan data volume kenaikan biogas kotoran gajah.

1. Senin, 22 Februari 2021

Hari ke 1 terjadi kenaikan biogas pada digester 1 dan digester 2 sedangkan pada

digester 3 dan digester 4 belum ada kenaikan dari biogas.

❖ Digester 1

$$V = 27\text{mm}$$

$$P = \rho \times g \times h$$

$$P = 0,25\text{m/s} \times 9,81\text{m/s} \times (27\text{mm} \times \sin 15)$$

$$P = 17,11 \text{ Pa}$$

❖ Digester 2

$$V = 25\text{mm}$$

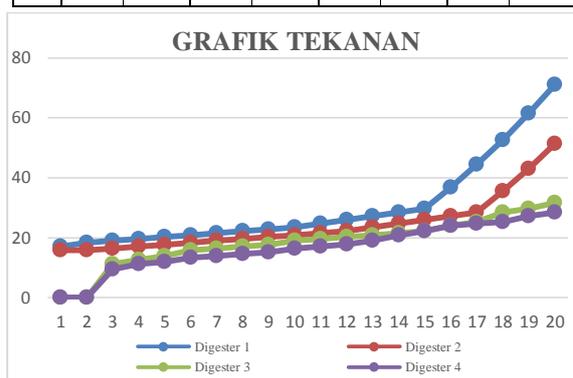
$$P = \rho \times g \times h$$

$$P = 0,25\text{m/s} \times 9,81\text{m/s} \times (25\text{mm} \times \sin 15)$$

$$P = 15,85 \text{ Pa}$$

**Tabel 3. Data tekanan dan volume hasil pengujian**

Hari	Campuran limbah dengan perbandingan 1:1 dengan jerami, dengan perlakuan panas 54°C		Campuran limbah dengan perbandingan 1:1 tanpa jerami, dengan perlakuan panas 54°C		Campuran limbah dengan perbandingan 1:1 dengan jerami, tanpa perlakuan panas		Campuran limbah dengan perbandingan 1:1 tanpa jerami, tanpa perlakuan panas	
	P	V	P	V	P	V	P	V
1	17,11	27	15,85	25	0	0	0	0
2	18,37	29	15,85	25	0	0	0	0
3	19,01	30	16,46	26	11,27	18	9,51	15
4	19,64	31	17,11	27	12,66	20	11,27	18
5	20,28	32	17,73	28	13,94	22	12,02	19
6	20,92	33	18,37	29	15,85	25	13,31	21
7	21,53	34	19,01	30	16,46	26	13,94	22
8	22,17	35	19,64	31	17,11	27	14,57	23
9	22,81	36	20,28	32	17,73	28	15,21	24
10	23,44	37	20,92	33	19,01	30	16,46	26
11	24,72	39	21,53	34	19,64	31	17,11	27
12	25,99	41	22,17	35	20,28	32	17,74	28
13	27,24	43	23,44	37	20,92	33	19,01	30
14	28,51	45	24,72	39	21,53	34	20,92	33
15	29,79	47	25,99	41	22,17	35	22,17	35
16	36,75	58	27,24	43	24,08	38	24,08	38
17	44,36	70	28,51	45	25,35	40	24,73	39
18	52,62	83	35,51	56	28,51	45	25,35	40
19	61,49	97	43,09	68	29,79	47	27,24	43
20	71,01	112	51,35	81	31,71	50	28,51	45



**Gambar 7. Grafik perbandingan tekanan digester 1,2,3 dan 4**

#### 4.2.4 laju Pembakaran Biogas



**Gambar 8. Pengujian laju pembakaran biogas kotoran gajah**

Berikut adalah data yang didapat setelah dilakukan pengujian laju pembakaran biogas kotoran gajah dan gas LPG

**Tabel 4. Data perbandingan laju pembakaran**

No.	Bahan Bakar	Suhu	Laju Pembakaran (detik)
1	Biogas kotoran Gajah	100°C	343 detik
2	Gas LPG	100°C	190 detik

Pengujian hanya dilakukan sekali dan didapat laju pembakaran biogas kotoran gajah didapat dengan memanaskan air sebanyak 500ml dan untuk mencapai temperatur 100°C dibutuhkan waktu sebanyak 343 detik dan Laju pembakaran gas LPG didapat dengan memanaskan air sebanyak 500ml dan untuk mencapai temperatur 100°C dibutuhkan waktu sebanyak 190 detik.

#### 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang berjudul “Pembuatan Biogas Dari Kotoran Gajah” adapun kesimpulan yang dapat ditarik untuk menjawab rumusan masalah.

Reaktor dengan temperatur konstan sebesar 54°C itu dirancang dengan sistem penambahan termostart didalam digester, hal ini terlihat pada hasil pengukuran dimana temperatur di dalam digester adalah tetap konstan, meskipun kondisi lingkungan berubah ubah yaitu akibat adanya hujan maupun di malam hari dimana temperatur lingkungannya turun. Keberhasilan mempertahankan temperatur 54°C ini berdampak pada volume dan tekanan biogas yang dihasilkan.

Laju pembakaran biogas adalah Pengujian laju pembakaran dilakukan dengan membandingkan laju pembakaran biogas kotoran gajah dengan gas LPG. Dapat dilihat dari hasil pengujian laju pembakaran, laju pembakaran gas LPG lebih baik dari biogas kotoran gajah dengan selisih 153 detik lebih cepat gas LPG.

Setelah dilakukan pengujian selama 20 hari didapat performance biodigester yang meliputi volume, tekanan dan laju pembentukan biogas.

Dilihat dari hasil perhitungan didapat laju pembentukan biogas paling besar adalah pada digester 1 dengan pemanasan konstan sebesar 54°C dan dengan penambahan jerami. Begitu pula dengan laju volume biogas dan laju tekanan biogasnya.

#### Daftar Pustaka

- [1] Nurandani Hardyanti, E. S. (n.d.). *Uji Pembuatan Biogas Dari Kotoran Gajah Dengan Variasi Penambahan Urine dan Air*.
- [2] Indri Oktavia, A. F., 2016, *Pemanfaatan Teknologi Biogas Sebagai Sumber Bahan Bakar Alternatif di Sekitar Wilayah Operasional PT. Pertamina EP Asset 2 Prabumulih Field*. Jurnal CARE, Jurnal Resolusi Konflik, CSR, dan Pemberdayaan Juni 2016, Vol. 1, 2528-0848.
- [3] Anonimus, 1977, *Methane Generation From Human*. Animal and Agric Wastes NAS, Washington DC.
- [4] Devita Sari, N. A., 2018, *Percobaan Produksi Biogas Dari Kotoran Gajah Dengan Variasi Penambahan Urine Sapi*. Prosiding Seminar Nasional Lingkungan Lahan Basah, Volume 3, Nomor 2, 444-448.
- [5] Dissanayake, M. (1977). *Biogas Production by Anaerobic Digestion*. (Thesis). AIT, Bangkok.
- [6] Guyup Mahardhian Dwi Putra, S. H., 2017, *Rancang Bangun Reaktor Biogas Tipe Portable Dari Limbah Kotoran Ternak Sapi*. Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem, vol 5, No. 1.
- [7] Andreas Felix S., P. S., 2012, *Pembuatan Biogas Dari Sampah Sayuran*. Journal Teknologi Kimia dan Industri, Vol. 1, No.1, Tahun 2012, 103-108.
- [8] Aditya Wahyu Pratama, S. R., 2020, *Uji Karakteristik Laju Pembakaran Dan Angka Oktan Bahan Bakar Polypropylene Cair Hasil Pemurnian Proses Distilasi Absorsi Dengan Variasi Campuran Oktan Booster*. Program Studi Otomotif, Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Jember Jalan Mastrip Kotak Pos 164 Jember 101. Journal mechanical and manufacture technology, Vol.1, No.1, Tahun 2020.



I Ketut Anggoro Putra menyelesaikan pendidikan di SMK N 1 Denpasar pada tahun 2017 dan melanjutkan studi sarjana Teknik Mesin di Universitas Udayana pada tahun 2017 sampai 2021. Ia menyelesaikan program studi sarjana dengan judul penelitian Pembuatan Biogas Dari Kotoran Gajah.

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

# Karakteristik Mekanik Komposit Poliester Berpenguat Serat Sisal Yang Diekstrak Dengan Metode Dekortikasi Dicitak Teknik *Vacuum*

Komang Ghosagotama Aryayustama, Tjokorda Gde Tirta Nindhia,  
I Wayan Surata

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit, Jimbaran Bali

## Abstrak

Komposit adalah gabungan dari dua atau lebih material yang dapat menggantikan logam, dikarenakan komposit memiliki sifat yang ringan, tidak korosi, hemat biaya, dan proses yang mudah. Pada penelitian ini proses pencetakan menggunakan teknik *vacuum*, karena teknik *vacuum* dapat menghilangkan void yang terperangkap pada resin. Pada penelitian ini dilakukan pembuatan komposit berpenguat serat alam yang diharapkan memiliki sifat-sifat yang mampu bersaing dengan logam. Penelitian ini menggunakan serat daun sisal yang diekstraksi dengan metode dekortikasi dan menggunakan matriks poliester jenis Yukalac C-108B dengan penambahan katalis MEKPO 1%. Selanjutnya diberikan perlakuan NaOH 5% selama 2 jam. Kemudian dilakukan pencetakan komposit menggunakan teknik *Vacuum* dengan variasi fraksi berat serat 0%, 1%, 2%, 3%, dan 4% orientasi serat acak dengan panjang serat 3 cm. Pematangan komposit sesuai dengan standar ASTM D638 untuk uji tarik dan ASTM D790 -02 untuk uji lentur. Kekuatan tarik komposit poliester berpenguat serat sisal yang diekstraksi dengan metode dekortikasi tertinggi terdapat pada fraksi berat tanpa serat dengan nilai rata-rata sebesar 39,37 MPa dan dekortikasi terendah sebesar 12,27 MPa pada fraksi berat serat 4%. Sedangkan untuk kekuatan lentur komposit tertinggi sebesar 97,49 MPa terjadi pada fraksi berat serat 0% dan menurun 56,35 MPa pada fraksi berat serat 1% kemudian terus menurun seiring bertambahnya fraksi berat serat 2%, dan 3% dan puncaknya pada fraksi berat serat 4% dengan nilai kekuatan lentur sebesar 27,64 MPa.

Kata Kunci : Serat daun sisal, *Vacuum* , kekuatan tarik, kekuatan lentur.

## Abstract

Composites are a combination of two or more materials, and can replace metals because they are lightweight, non-corrosive, cost-effective, and easy to process. The printing process uses a vacuum technique because it can remove trapped voids in the resin. In this case, research and manufacture of natural fiber reinforced composites is carried out which is expected to be able to compete with metal. This study used sisal leaf fiber extracted by decortication method and used a Yukalac C-108B polyester matrix with the addition of 1% MEKPO as a catalyst. Then given NaOH treatment 5% within 2 hours. Furthermore, composite printing was carried out using the Vacuum technique with variations in fiber weight fraction of 0%, 1%, 2%, 3%, and 4% random fiber orientation with a fiber length of 3 cm. The composite cuts conform to ASTM D638 standards for tensile tests and ASTM D790-02 for flexural tests. The tensile strength of the sisal fiber reinforced polyester composite extracted by the decortication method was highest at 0% fiber weight fraction with an average value of 39.37 MPa and the lowest was 12.27 MPa at 4% fiber weight fraction. Meanwhile, the highest composite flexural strength of 97.49 occurred at 0% fiber weight fraction and decreased by 56.35 MPa at 1% fiber weight fraction then continued to decrease with increasing fiber weight fraction 2% and 3% and peaked at 4% fiber weight fraction. with a flexural strength value of 27.64 MPa

Keywords: sisal leaves fiber, vacuum, tensile strength, flexural strength

## 1. Pendahuluan

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi yang begitu pesat khususnya di bidang konstruksi dan manufaktur mengakibatkan meningkatnya kebutuhan material untuk sebuah produk, saat ini material yang sering digunakan di bidang konstruksi dan manufaktur adalah logam sehingga mengakibatkan permintaan logam semakin meningkat, oleh karena itu komposit dapat menggantikan logam, dikarenakan material komposit yang ringan, tidak korosi,

hemat biaya, dan proses yang mudah. Komposit adalah gabungan dari dua atau lebih material, baik metal, polimer, maupun keramik yang bertujuan mengombinasikan sifat-sifat yang tidak dapat ditemukan dalam satu material [1].

Belakangan ini komposit dicetak dengan teknik *vacuum* sedang banyak dikembangkan. Dalam penelitian ini digunakan serat sisal dengan variasi fraksi berat serat: 1 %, 2 %, 3 %, 4% dengan matriks poliester untuk membandingkan dan mendapatkan data kekuatan tarik komposit dan kekuatan

lentur komposit setelah pengujian. Sedangkan perlakuan NaOH 5% dengan waktu perendaman 2 jam.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Serat Sisal

Serat sisal (*Agave Sisalana*) adalah salah satu bagian terpenting dari komposit yang berfungsi sebagai penguat dalam komposit tersebut. Daun Sisal dilakukan proses ekstraksi menggunakan proses dekortasi untuk mendapatkan serat sisal.

### 2.2 Resin Poliester

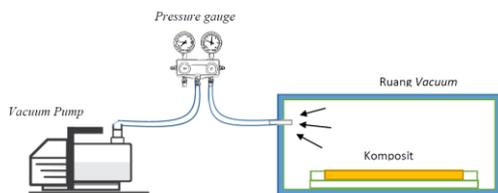
Penggunaan resin pada penelitian ini yaitu menggunakan jenis yukulac C-108B. Adapun karakteristik dari resin ini sebagai berikut :

**Tabel 1. Sifat mekanik unsaturated poliester resin yukulac C -108B**

No	Sifat	Nilai
1.	Densitas ( $\rho$ )	1,215 g/cm <sup>3</sup>
2.	Kekuatan Tarik ( $\sigma_a$ )	25,7Mpa
3.	Modulus Elastisitas (E)	9,7Mpa
4.	<i>Elongation Break</i>	1,6 %
5	Kekuatan Lentur( $\sigma_b$ )	42Mpa

### 2.3 Metode Vacuum

Metode pembuatan komposit untuk penelitian ini menggunakan vacuum yaitu dengan cara memasukan cetakan komposit kedalam ruang vakum dan udara di dalam ruang vakum lalu di *vacuum* dengan *vacuum pump*.



**Gambar 1. Skema pencetakan vacuum**

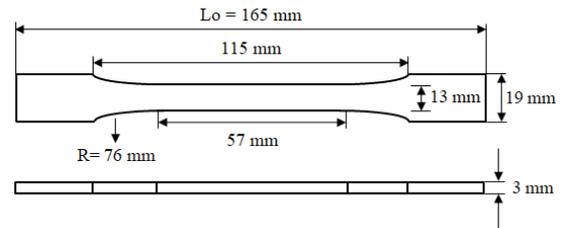
### 2.4 Fraksi Berat

Untuk menentukan jumlah serat daun sisal yang digunakan dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} FB &= w_f/w_c \times 100 \\ w_c &= w_f + w_r \\ w_r &= V_{ce} \times \rho_r \\ V_{ce} &= p \times \ell \times t \end{aligned} \quad (1)$$

### 2.5 Uji Tarik

Spesimen pengujian tarik dibentuk berdasarkan ASTM D638 yang ditunjukkan pada gambar sebagai berikut :

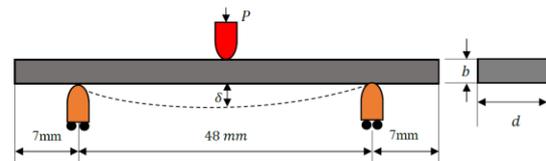


**Gambar 2. Spesimen Uji Tarik [2]**

$$\begin{aligned} \sigma &= P/A_0 \\ \epsilon &= (L - L_0)/L_0 \\ E &= \Delta\sigma/\Delta\epsilon \end{aligned} \quad (2)$$

### 2.6 Uji lentur

Spesimen uji lentur dibuat sesuai standar ASTM D790-03 yang ditunjukkan pada gambar berikut:



**Gambar 3. Spesimen Uji Lentur (ASTM D 790-03)**

$$\begin{aligned} \sigma_b &= 3Pl/(2bd^2) \\ E &= (l^3 m)/(4bd^3) \\ E &= 6Dd/l^2 \end{aligned} \quad (3)$$

### 2.7 Pengamatan Permukaan Patah Dengan Mikroskop Makro

Pada gambar 4 dapat dilihat pada titik A terjadi overload 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 interlaminar. 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
2. Alat Uji Lentur
3. Cetakan komposit
4. Timbangan Digital
5. Gelas Ukur

6. Ruang Vacuum
7. Vacuum Pump
8. Pressure Gauge
9. Gunting
10. Alat bantu yang digunakan seperti sarung tangan dan masker
11. Alat pembersih yang digunakan seperti tissue, lap kain, kuas.

### 3.2. Bahan Penelitian

1. Resin Poliester C-108B
2. Serat sisal
3. Glycerin
5. NaOH

### 3.3 Prosedur Penelitian

1. Siapkan daun sisal diambil no 2 dari bawah sampai dengan no 5, kemudian serat diekstraksi dengan metode dekortasi dengan cara daun sisal dibelah menjadi 4 bagian, lalu jepit dengan sebuah bambu kemudian ditarik secara berulang-ulang, sehingga serat dan zat pengikat akan terpisahkan.
2. NaOH digunakan untuk menghilangkan kotoran atau lignin pada serat, Pada penelitian ini peneliti merendaman NaOH 5% selama 2 jam.
3. Pemotongan serat yang sesuai dengan panjang yaitu 3 cm.
4. Ukur matriks Resin poliester C-108B sesuai dengan volume komposit yang akan dicetak.  
Volume cetakan = 187,5 cm<sup>3</sup>  
Massa jenis resin = 1,2 gram/cm<sup>3</sup>  
Berat resin = 225 gram
5. Tambahkan hardener metil etil peroxide (MEKPO) 1%.
6. Campur poliester dengan hardener sesuai perhitungan.
7. Campuran poliester, hardener, dan serat daun sisal sesuai hitungan dituangkan pada cetakan sesuai dengan ketebalan spesimen.
8. Cetakan akan dimasukkan ke dalam ruang vacuum dengan tekanan -30 bar selama 10 menit
9. Potong spesimen sesuai dengan ukuran spesimen untuk uji tarik dan uji lentur

### 3.4 Pengujian Komposit

#### 3.4.1 Uji Tarik

1. Panjang dan penampang spesimen diukur terlebih dahulu sebelum diuji.
2. Persiapkan mesin uji tarik yang akan digunakan.

3. Pasang spesimen uji tarik dan pastikan spesimen terjepit dengan baik.
4. Mulai pengujian dengan mesin uji tarik.
5. Perhatikan pertambahan panjang yang akan patah, hentikan mesin uji tarik ketika sudah patah, catat gaya tarik maksimum dan pertambahan panjangnya.

#### 3.4.2 Uji Lentur

1. Persiapkan mesin uji lentur dan spesimen uji lentur.
2. Menentukan titik tumpuan dan titik tengah dengan memberikan tanda garis.
3. Meletakkan spesimen yang akan diuji.
4. Putar handle sampai beban menyentuh spesimen dan *manometer indicator* menunjukan angka nol.
5. Catat hasil besar beban yang diberikan pada tiap putaran yang ditentukan.

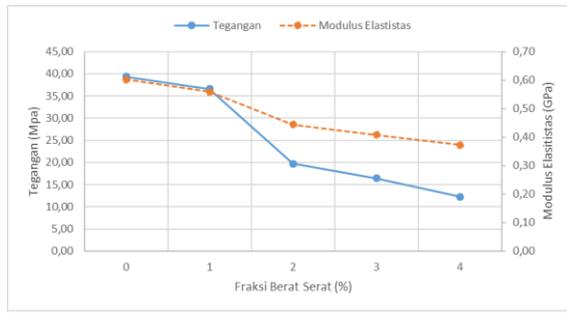
### 4. Hasil dan Pembahasan

#### 4.1. Hasil dan Perhitungan Uji Tarik

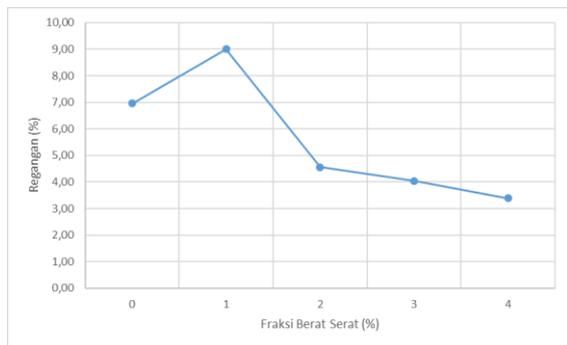
Tabel 2. Data Hasil Perhitungan Uji Tarik Komposit

Pengujian Tarik Komposit			
Fraksi Berat Serat 0%			
Spesimen	$\sigma$ (MPa)	$\epsilon$ (%)	E(GPa)
A1	47,95	9,65	0,50
A2	35,69	6,84	0,52
A3	34,47	4,39	0,79
Rata-rata	39,37	6,96	0,60
Fraksi Berat Serat 1%			
Spesimen	$\sigma$ (MPa)	$\epsilon$ (%)	E(GPa)
B1	33,35	5,61	0,60
B2	31,95	3,86	0,83
B3	44,15	17,54	0,25
Rata-rata	36,55	9,01	0,56
Fraksi Berat Serat 2%			
Spesimen	$\sigma$ (MPa)	$\epsilon$ (%)	E(GPa)
C1	21,66	5,09	0,43
C2	19,08	3,51	0,54
C3	18,42	5,09	0,36
Rata-rata	19,72	4,56	0,44
Fraksi Berat Serat 3%			
Spesimen	$\sigma$ (MPa)	$\epsilon$ (%)	E(GPa)
D1	18,59	4,21	0,44
D2	14,46	3,51	0,41
D3	16,27	4,39	0,37
Rata-rata	16,44	4,04	0,41
Fraksi Berat Serat 4%			
Spesimen	$\sigma$ (MPa)	$\epsilon$ (%)	E(GPa)
E1	11,08	2,46	0,45
E2	13,73	4,21	0,33

E3	12,00	3,51	0,34
Rata-rata	12,27	3,39	0,37



Gambar 5. Grafik Pengaruh Fraksi Berat Serat Terhadap Tegangan dan Modulus Elastisitas



Gambar 6. Grafik Pengaruh Fraksi Berat Serat Terhadap Regangan Tarik

#### 4.2 Pembahasan Uji Tarik Komposit

Berdasarkan gambar 5 menunjukkan bahwa kekuatan tarik meningkat seiring dengan berkurangnya fraksi berat serat. Nilai terendah terdapat pada fraksi berat serat 4% dengan nilai rata-rata kekuatan tarik sebesar 12,27 MPa dengan modulus elastisitas sebesar 0,37 GPa. Sementara itu, kekuatan tarik tertinggi terdapat pada fraksi tanpa serat dengan nilai rata-rata kekuatan tarik sebesar 39,37 MPa dengan modulus elastisitas sebesar 0,60 GPa. Hal ini dapat terjadi dikarenakan pada saat proses pengujian tarik material tidak putus dengan sempurna. [3]

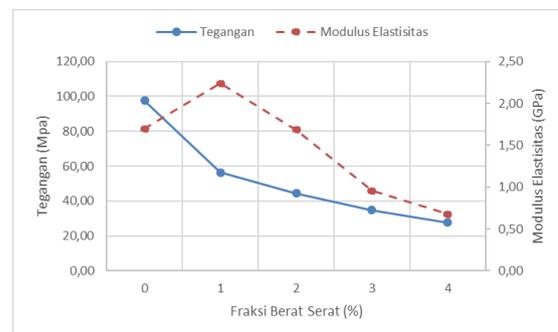
Hasil kekuatan tarik komposit menggunakan percetakan *hand-lay up* dari serat sisal dengan fraksi berat serat 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10%. Tegangan tertinggi terdapat pada fraksi 10% dengan nilai rata-rata sebesar 34,68 Mpa, pada penelitian ini hasil tegangan tertinggi dengan nilai rata-rata 36,55 Mpa terdapat pada fraksi berat serat 1% [4]. Sementara itu kekuatan tarik komposit serat gewang dengan metode *vacuum* lebih tinggi dari metode *hand-lay up* kenaikan nilai

tegangan tarik sebesar 29,41%, hal ini disebabkan oleh ikatan matriks dan serat yang merata pada waktu percetakan [5].

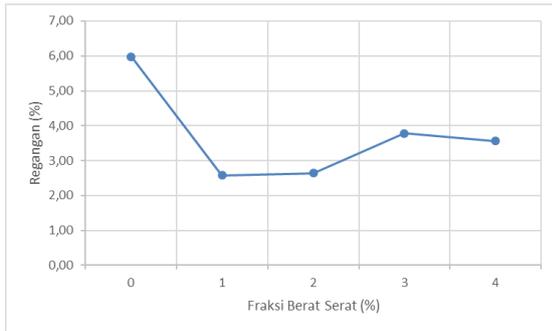
#### 4.3 Hasil dan Perhitungan Uji Lentur Komposit

Tabel 3. Data Hasil Perhitungan Uji Lentur Komposit

Penguujian Tarik Komposit			
<b>Fraksi Berat Serat 0%</b>			
Spesimen	$\sigma_L$ (MPa)	$\epsilon_L$ (%)	E (GPa)
F1	89,47	4,59	1,95
F2	87,04	7,44	1,17
F3	115,96	5,90	1,97
Rata-rata	97,49	5,98	1,69
<b>Fraksi Berat Serat 1%</b>			
Spesimen	$\sigma_L$ (MPa)	$\epsilon_L$ (%)	E (GPa)
G1	62,77	3,28	1,92
G2	51,27	2,02	2,54
G3	55,00	2,44	2,26
Rata-rata	56,35	2,58	2,24
<b>Fraksi Berat Serat 2%</b>			
Spesimen	$\sigma_L$ (MPa)	$\epsilon_L$ (%)	E (GPa)
H1	42,00	2,83	1,49
H2	40,58	2,51	1,62
H3	50,83	2,60	1,95
Rata-rata	44,47	2,65	1,69
<b>Fraksi Berat Serat 3%</b>			
Spesimen	$\sigma_L$ (MPa)	$\epsilon_L$ (%)	E (GPa)
I1	35,45	4,39	0,81
I2	31,69	2,67	1,19
I3	37,32	4,28	0,87
Rata-rata	34,82	3,78	0,95
<b>Fraksi Berat Serat 4%</b>			
Spesimen	$\sigma_L$ (MPa)	$\epsilon_L$ (%)	E (GPa)
J1	31,48	3,44	0,49
J2	21,54	4,42	0,49
J3	29,90	2,84	1,05
Rata-rata	27,64	3,57	0,68



Gambar 7. Grafik Pengaruh Fraksi Berat Serat Terhadap Tegangan dan Modulus Elastisitas



**Gambar 8. Grafik Pengaruh Fraksi Berat Serat Terhadap Regangan Lentur**

**4.4 Pembahasan Uji Lentur Komposit**  
Berdasarkan gambar 7 menunjukkan kekuatan lentur tertinggi ada pada fraksi berat serat 0% dengan nilai sebesar 97,49 MPa. Sementara kekuatan lentur terendah ada pada fraksi berat serat 4% dengan nilai rata-rata 27,64 Mpa. Pada fraksi berat serat 1% dengan nilai 56,32 Mpa. Dimana pada fraksi berat serat 2% dan 3% masing-masing memiliki nilai kekuatan lentur rata-rata sebesar 44,47 Mpa dan 37,32 Mpa. Hal ini dapat dikarenakan keselarasan antar serat dan void yang terdapat pada specimen sehingga menurunnya kekuatan komposit [6].

Tegangan lentur komposit diperkuat serat prasok dengan fraksi berat serat 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10%. Tegangan lentur tertinggi terdapat pada fraksi berat serat 0% sebesar 89,57 Mpa [7]. Sementara itu, hasil kekuatan lentur komposit diperkuat serat sisal dengan fraksi berat 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10%. Nilai lentur tertinggi terdapat pada fraksi 0% (matriks murni) sebesar 91,30 Mpa, dan terendah pada fraksi berat serat 2,5% sebesar 64,25 Mpa [4].

#### 4.5 Pengamatan Foto Makro

##### 4.5.1 Void

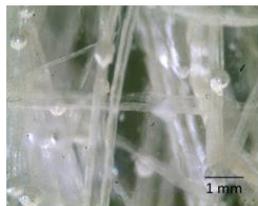
Adapun hasil pengamatan void setiap spesimen uji sebagai berikut :



**Gambar 9. Void Fraksi Berat 1%**



**Gambar 10. Void Fraksi Berat 2%**



**Gambar 11. Void Fraksi Berat 3%**



**Gambar 12. Void Fraksi Berat 4%**

##### 4.5.2 Pembahasan Void

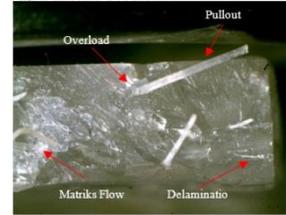
Pada Gambar 9 foto makro dengan fraksi berat serat 1% terdapat void dengan luas area sebesar 1,7%. Sedangkan pada Gambar 10 fraksi berat serat 2% terdapat void dengan luas area 3,2%. Kemudian pada Gambar 11 fraksi berat serat 3% terdapat void dengan luas area sebanyak 3,9% dan pada fraksi berat serat 4% menunjukkan void dengan luas area sebesar 4,8% seperti yang terlihat pada Gambar 12.

##### 4.5.3 Patahan

Adapun hasil pengamatan patahan setiap spesimen uji sebagai berikut :



**Gambar 13. Patahan 1%**



**Gambar 14. Patahan 2%**



**Gambar 15. Patahan 3%**

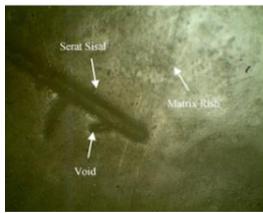


**Gambar 16. Patahan 4%**

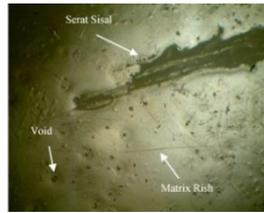
Terlihat pada gambar 13 diatas bahwa patahan specimen dengan fraksi berat serat 1% terdapat matriks flow dengan orientasi sebesar 42,80% . Hal ini dikarenakan jumlah serat yang sedikit dan tidak terdistribusi secara merata. Pada gambar 14 patahan specimen dengan fraksi berat serat 2 % terdapat matriks flow sebesar 40,20%. Sedangkan pada gambar 15 patahan pecimen dengan fraksi berat serat 3 % terdapat matriks flow sebesar 12,05%, selain matriks flow terdapat juga delamination, overload dan pullout, serta terdapat juga pullout pada gambar 16 patahan specimen dengan fraksi berat serat 4% dengan matriks flow sebesar 1.63%.

##### 4.6 Hasil Foto Mikro

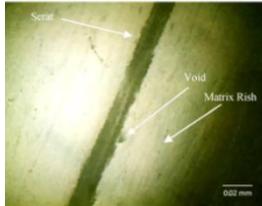
Adapun hasil pengamatan foto mikro pembesaran 40x sebagai berikut:



Gambar 17. Mikro 1%



Gambar 18. Mikro 2%

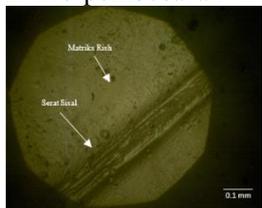


Gambar 19. Mikro 3%

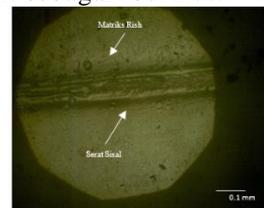


Gambar 20. Mikro 4%

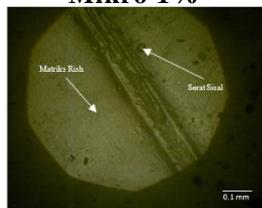
Adapun hasil pengamatan foto mikro pembesaran 100x sebagai berikut:



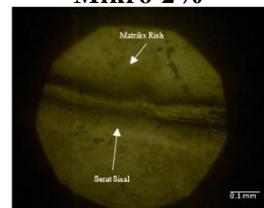
Gambar 21. Mikro 1%



Gambar 22. Mikro 2%



Gambar 23. Mikro 3%



Gambar 24. Mikro 4%

## 5. Kesimpulan

Kekuatan tarik komposit tertinggi terdapat pada komposit dengan nilai fraksi berat sebesar 0% dan didapatkan nilai rata-rata tegangan tarik sebesar 39,37 MPa. Sedangkan tegangan tarik terendah terdapat pada nilai fraksi berat serat sebesar 4% dengan nilai rata-rata tegangan tarik sebesar 12,27 MPa.

Kekuatan lentur tertinggi terdapat pada komposit dengan fraksi berat serat 0% dan didapatkan nilai rata-rata tegangan lentur sebesar 97,49 MPa. Sedangkan tegangan lentur terendah terdapat pada nilai fraksi berat serat 4% dan nilai rata-rata tegangan lentur sebesar 27,64.

## Daftar Pustaka

- [1] W.D. Callister, 2007, *Materials Science and Engineering*, John Wiley Sons, Inc. 7nd Ed. New York.
- [2] A. Chhetri, K. Watts, M. Islam, 2008, *Waste Cooking Oil as an Alternate Feedstock for Biodiesel Production*, Energies, vol. 1, no. 1, pp. 3–18, doi: 10.3390/en1010003.
- [3] W. Sujana and I.K.A. Widi, 2014, *Pemanfaatan Silicon Rubber Untuk Meningkatkan Ketangguhan Produk Otomotif Buatan Lokal*, J. Energi Dan Manufaktur, vol. 6, no. 1, pp. 37–42.
- [4] I. M. M. P. Utama, 2017, Karakteristik *Mekanik Komposit Polyester Berpenguat Serat Sisal (Agave Sisalana) Dengan Fraksi Berat Serat Yang Diekstrak Menggunakan Metode Dekortikasi*, Jurnal Tek.
- [5] Y.O. Bani, D.P. Mangesa, J.S. Bale, 2017, *Pembuatan Dan Pengujian Alat Fabrikasi Komposit Vacuum Bag Dengan Menggunakan Metode VDI 2221*, Lontar J. Tek. Mesin UNDANA, vol. 04, no. 01, pp. 16–25.
- [6] M. Zuhri, M. Yusoff, S. Mohd Sapuan, N. Ismail, R. Wirawan, 2010, *Mechanical properties of short random oil palm fibre reinforced epoxy composites*, Sains Malaysiana, vol. 39, no. 1, pp. 87–92
- [7] I.K.P. Atmaja, IW. Surata, T.G.T. Nindhia, 2020, *Karakteristik Mekanik Komposit Poliester Diperkuat Serat Cordyline australis ( Daun Praksok ) dengan Variasi Fraksi Berat*, vol. 9, no. 3, pp. 2–6
- [8] S. Krishna, I.P.A.S, Nasmi, H.S., 2013, *Analisa Uji Penyerapan Air dan Struktur Mikro Komposit Laminat Hybrid Serat Sisal dan Batang Pisang Dengan Matriks Epoxy*, (Dinamika Tek. Mesin) Tek. Mesin Univ. Mataram, 2013.



Komang Ghosagotama Aryayustama merupakan mahasiswa semester akhir Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana menyelesaikan studi program sarjana dengan topik Pengaruh Fraksi Berat Serat Terhadap Kekuatan Tarik Dan Lentur Komposit Poliester Berpenguat Serat Sisal Yang Diekstrak Dengan Metode Dekortasi.

Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan komposit, khususnya berpenguat serat alam.

# Karakteristik Mekanik Komposit Poliester Berpenguat Serat Sisal Yang Diekstraksi Dengan Metode *Water Retting* Di Cetak Teknik *Vacuum*

Rafi Purwadi, I Wayan Surata, Tjokorda Gde Tirta Nindhia  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

Komposit adalah material kombinasi dari dua atau lebih komponen yang berbeda yaitu serat sebagai pengisi dan matriks sebagai bahan pengikat serat dengan tujuan untuk mendapatkan sifat-sifat fisik dan mekanik tertentu yang lebih baik untuk mengurangi penggunaan logam. Keunggulan komposit yaitu ringan, kuat, tahan terhadap korosi memiliki massa jenis yang rendah, harga murah serta memiliki sifat mekanik yang baik. Penelitian untuk membuat komposit berpenguat serat alam yang diharapkan mampu menggantikan atau mengurangi penggunaan logam. Dalam penelitian ini menggunakan serat sisal dengan yang diekstraksi dengan metode *water retting* menggunakan matriks poliester type Yukalac 157 BQTN dengan campuran katalis MEKPO 1%. Dimana serat sisal diberikan perlakuan NaOH sebesar 5% selama 2 jam. Tahap pencetakan komposit menggunakan teknik *vacuum* dengan variasi fraksi berat serat : 0%, 1%, 2%, 3% dan 4% dengan orientasi serat acak. Pemotongan komposit mengikuti standar ASTM D 638 untuk uji Tarik dan ASTM D790-03 untuk uji lentur. Kekuatan tarik komposit tertinggi terdapat pada fraksi tanpa serat 0% dengan nilai rata-rata tegangan tarik sebesar 33,33 Mpa. Kemudian menurun seiring bertambahnya fraksi berat serat hingga 4% dengan kekuatan tarik terendah sebesar 12,76 Mpa. Sedangkan kekuatan lentur tertinggi terdapat pada fraksi tanpa serat 0% dengan nilai rata-rata tegangan lentur sebesar 102,68 Mpa. sementara tegangan lentur terendah terdapat pada fraksi berat serat 4% sebesar 37,32 Mpa.

Kata kunci : Serat sisal, serat tunggal, kekuatan tarik, kekuatan lentur.

## Abstract

Composite is a material which is a combination of two or more different components, that is fiber as a filler and a matrix as a fiber binding material with the aim of obtaining certain better physical and mechanical properties to reduce the use of metal. The advantages of composites are light, strong, resistant to corrosion, low density, low price and good mechanical properties. Research to make composites with natural fiber reinforcement is expected to increase the use of metals. In this study, sisal fiber was extracted using the *water retting* method using a Yukalac 157 BQTN polyester matrix with a 1% MEKPO catalyst mixture. Where the sisal fiber was treated with 5% NaOH for 2 hours. The composite fusion stage uses a *vacuum* technique with variations in fiber weight fraction: 0%, 1%, 2%, 3% and 4% with random fiber orientation. The composite cuts followed the standards of ASTM D 638 for the Tensile test and ASTM D790-03 for the flexural test. The highest tensile strength of the composite was found in the 0% fiberless fraction with an average tensile stress value of 33.33 Mpa. Then it decreases with increasing fiber weight fraction to 4% with the lowest tensile strength of 12.76 Mpa. While the highest flexural strength is found in the 0% fiberless fraction with an average flexural stress value of 102.68 Mpa. while the lowest flexural stress is found in the 4% fiber weight fraction of 37.32 Mpa.

Keywords : sisal fiber, single fiber, tensile strength, flexural strength.

## 1. Pendahuluan

Kekurangan sumber energi yang ada di dunia telah menjadi masalah serius dan menjadi tantangan bagi para peneliti, dengan mengurangi berat kendaraan maka semakin rendah pula konsumsi energinya sehingga banyak dilakukan penelitian dan pengembangan material baru untuk bodi kendaraan yang lebih ringan dan kuat serta bisa dikembangkan. Salah satu material yang bisa dikembangkan untuk mengurangi berat kendaraan yaitu dengan komposit.

Komposit adalah hasil material kombinasi dari dua atau lebih komponen yang berbeda, yaitu serat (pengisi) dan matriks (bahan pengikat serat) dengan tujuan untuk mendapatkan sifat-sifat fisik dan mekanik tertentu yang lebih baik dari pada sifat masing-masing komponen penyusunnya [1]. Oleh karena itu dibutuhkan material yang dapat mengurangi penggunaan logam seperti komposit berpenguat serat

alam. Penggunaan alami merupakan langkah yang tepat dikarenakan keunggulan komposit yaitu ringan, kuat, tahan terhadap korosi, dan serat alam mengurangi berat 10 %, serta energi yang dibutuhkan lebih rendah untuk produksi sekitar 80% sementara biaya komponen 5% lebih rendah dibandingkan dengan serat gelas [2]. Metode pemisahan serat alam yang sering dilakukan yaitu salah satunya *water retting*. Proses *water retting* adalah proses yang dilakukan oleh mikroorganisme untuk memisahkan atau membuat busuk zat perekat yang berada pada sekitar serat, selanjutnya serat diberikan perlakuan alkali untuk membersihkan lapisan lilin dan kotoran yang ada pada permukaan serat.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Komposit

Komposit dapat di definisikan sebagai suatu sistem material yang tersusun dari campuran/kombinasi dua atau lebih unsur utama yang secara makro berbeda di dalam bentuk atau komposisi material yang pada dasarnya tidak dapat dipisahkan [3].

## 2.2 Klasifikasi Material Komposit Berdasarkan Komponen Structural

- Komposit Serat (*Fibrous Composites*)
- Komposit Partikel (*Particulate Composites*)
- Komposit Lapis (*Laminates Composites*)

## 2.3 Matriks

Matriks berfungsi untuk mengikat serat menjadi satu struktur komposit matriks, matriks dalam struktur komposit bisa berasal dari bahan polimer, logam, maupun keramik [4].

Matriks memiliki beberapa fungsi diantaranya :

- Melindungi serat dari kerusakan akibat kondisi lingkungan
- Mengikat serat menjadi satu kesatuan struktur
- Mentransfer dan mendistribusikan beban ke serat
- Menyumbangkan beberapa sifat seperti, kekakuan, ketangguhan dan tahanan listrik

## 2.4 Resin

Penggunaan resin pada penelitian ini yaitu menggunakan resin poliester tipe Yukalac157 BQTN-EX.

**Tabel 1. Spesifikasi Unsaturated Polyester Resin Yukalac 157 BQTN-EX , [5]**

No.	Sifat	Nilai
1.	Densitas ( $\rho$ )	1,2 g/cm <sup>3</sup>
2.	Kekuatan Tarik ( $\sigma$ )	12,07 N/mm <sup>2</sup>
3.	Modulus Elastisitas (E)	1,18 x 10 <sup>3</sup> N/mm <sup>2</sup>
4.	Poisson Ratio ( $\nu$ )	0,33
5.	Kekuatan Fleksural	94 N/mm <sup>2</sup>
6.	Modulus Fleksural	3,00 x 10 <sup>3</sup> N/mm <sup>2</sup>

## 2.5 Katalis

Berfungsi untuk mempercepat proses pengerasan cairan resin. Penggunaan katalis pada penelitian ini yaitu menggunakan *Methyl Ethyl Ketone Peroxide* (MEKPO). Kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada penambahan 1% katalis [6].

## 2.6 Serat Sisal

Serat sisal memiliki kandungan selulosa tinggi, panjang serat sisal dapat bervariasi antara 1.0-1.5 meter dengan diameter antara 0,1-0,3 mm [7]



**Gambar 1. Tanaman Sisal**

## 2.7 Perhitungan Fraksi Berat Serat

Fraksi berat serat adalah perbandingan antara berat serat dengan berat komposit, [8].

Perhitungan fraksi berat serat sebagai berikut :

$$FB = \frac{w_f}{w_c} \times 100 \quad (1)$$

$$w_c = w_f + w_r$$

$$w_r = V_{ce} \times \rho_r$$

$$V_{ce} = p \times \ell \times t$$

Dimana :

FB = fraksi berat serat (%)

w<sub>f</sub> = berat fiber (gram)

w<sub>c</sub> = berat composite (gram)

w<sub>r</sub> = berat resin (gram)

V<sub>ce</sub> = volume cetakan (cm<sup>3</sup>)

ρ<sub>r</sub> = massa jenis resin (g/cm<sup>3</sup>)

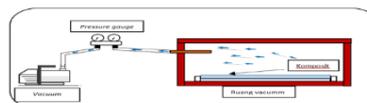
p = panjang cetakan (cm)

ℓ = lebar cetakan (cm)

t = tebal cetakan (cm)

## 2.8 Metode Vacuum

Metode *vacuum* merupakan metode pembuatan material komposit dengan menggunakan pompa vacuum, serta dapat memperkuat sifat mekanik dari suatu material komposit

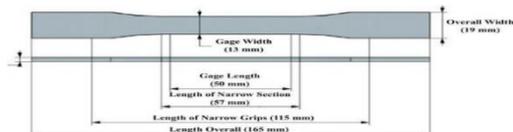


**Gambar 2. Skema Vacuum**

Dimana proses *vacuum* dengan memberikan tekanan *negativ* pada ruang *vacuum* hingga -20 bar selama 10 menit dan proses pendinginan selama 1 jam.

## 2.9 Uji Tarik Komposit

Pada penelitian ini menggunakan ASTM D648



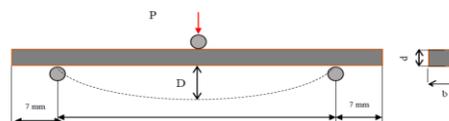
**Gambar 3. Spesimen Uji Tarik Komposit**

Perhitungan tegangan tarik, regangan tarik dan modulus elastisitas komposit :

$$\sigma = \frac{P}{A_0}, \quad \epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}, \quad E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \epsilon} \quad (2)$$

## 2.10 Uji Lentur Komposit

Pada penelitian ini menggunakan ASTM D790-03 seperti sebagai berikut :



**Gambar 4. Spesimen Uji Lentur**

Tegangan lentur, regangan lentur dan modulus elastisitas komposit dapat dihitung sebagai berikut:

$$\sigma_L = \frac{3P\ell}{2bd^2}, \quad \epsilon_L = \frac{6\Delta d}{\ell^2}, \quad E = \frac{\ell^3 m}{4bd^3} \quad (3)$$

### 2.11 Pengamatan Permukaan Patah Dengan Mikroskop Makro

Bertujuan untuk mengetahui jenis patahan komposit setelah pengujian tarik seperti gambar di bawah ini :



Gambar 5. Pengamatan patahan

- Dilihat pada di titik A putusya serat yang disebabkan karena batas kekuatan serat dan ikatan antara serat yang kuat.
- Pada titik B terjadi pullout
- Pada titik C terjadi delamination
- Pada titik D terjadi matrix flow

## 3. Metode Penelitian

### 3.1 Alat Penelitian

1. Alat uji tarik komposit
2. Alat uji lentur komposit
3. Cetakan komposit
4. Mikroskop
5. Lensa perbesaran 40x & 100x
6. Timbangan digital
7. Gelas ukur 1 liter
8. Suntikan dengan ukuran 5 ml
9. Sarung tangan/hand Glove

### 3.2 Bahan Penelitian

1. Resin Yukalac 157 BQTN-EX
2. Serat sisal
3. NaOH
4. Gliserin
5. Katalis MEKPO

### 3.3 Prosedur Penelitian

#### 3.3.1 Proses Pembuatan Serat Sisal

1. Menyiapkan daun sisal terbaik
2. Melakukan proses *water retting*
3. Memisahkan serat dan zat pengikatnya
4. Memberikan perlakuan perendaman NaOH 5% selama 2 jam
5. Membersihkan serat dan mengerikan
6. Memberikan perlakuan perendaman NaOH 5% selama 2 jam

#### 3.3.2 Proses Pembuatan Komposit

1. Menyiapkan daun sisal terbaik
2. Pemotongan serat dengan panjang yaitu 3 cm
3. Campurkan resin poliester dengan 1% hardener *Methyl Ethyl Ketone Peroxide* (MEKPO) ke dalam gelas ukur.
4. Lapsi cetakan kaca dengan gliserin.
5. Campuran poliester, hardener, dan serat sisal sesuai takaran
6. Melakukan proses *vacuum*
7. *Vacuum* dengan tekanan -20 bar (10) menit
8. Diamkan selama 1 jam
9. Pisahkan antara cetakan dengan komposit
10. Potong spesimen sesuai dengan standar ASTM D638 untuk uji tarik dan ASTM D790-03 uji lentur.

#### 3.3.4 Uji Tarik Komposit

1. Mengukur panjang dan ketebalan spesimen
2. Mempersiapkan alat uji tarik komposit

3. Memasang spesimen uji tarik komposit
4. Melakukan pengujian dengan alat uji tarik komposit.
5. Mencatat pertambahan panjang bahan uji hingga titik maksimal

### 3.3.5 Uji Lentur Komposit

1. Mengukur ketebalan specimen
2. Mempersiapkan alat uji lentur
3. Menentukan titik tumpuan dan titik tengah
4. Meletakan spesiemn uji pada alat uji lentur
5. Memberikan beban dengan kecepatan konstan
6. catat setiap hasil beban yang diberikan pada benda uji setiap 0,1 mm hingga mencapai titik maksimal pada benda uji

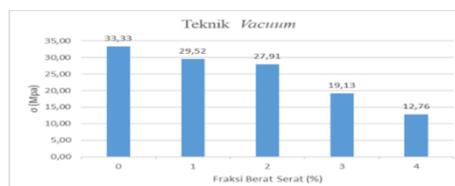
## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1 Hail Uji Tarik Komposit

Tabel 3. Data Hasil Perhitungan Uji Tarik Komposit

Pengujian Tarik Komposit			
Fraksi Berat Serat 0%			
Spesimen	$\sigma$ (MPa)	$\epsilon$ (%)	E (GPa)
TK1	34,95	5,09	0,69
TK2	34,76	5,09	0,68
TK3	30,29	4,39	0,69
RATA - RATA	33,33	4,85	0,69
Fraksi Berat Serat 1%			
Spesimen	$\sigma$ (MPa)	$\epsilon$ (%)	E (GPa)
TK1	31,36	4,39	0,71
TK2	25,80	5,44	0,47
TK3	31,39	4,91	0,64
RATA - RATA	29,52	4,91	0,61
Fraksi Berat Serat 2%			
Spesimen	$\sigma$ (MPa)	$\epsilon$ (%)	E (GPa)
TK1	31,31	4,56	0,69
TK2	24,88	4,04	0,62
TK3	27,53	5,96	0,46
RATA - RATA	27,91	4,85	0,59
Fraksi Berat Serat 3%			
Spesimen	$\sigma$ (MPa)	$\epsilon$ (%)	E (GPa)
TK1	16,62	2,46	0,68
TK2	23,25	4,04	0,58
TK3	17,52	7,72	0,23
RATA - RATA	19,13	4,74	0,49
Fraksi Berat Serat 4%			
Spesimen	$\sigma$ (MPa)	$\epsilon$ (%)	E (GPa)
TK1	11,80	3,33	0,35
TK2	14,86	3,51	0,42
TK3	11,63	3,16	0,37
RATA - RATA	12,76	3,33	0,38

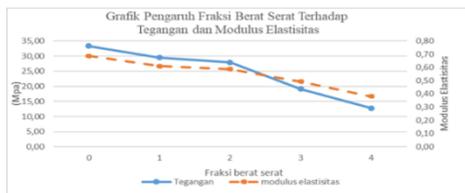
Berdasarkan data diatas, dapat dibuat grafik hubungan antara kekuatan tarik, regangan tarik dan modulus elastisitas sebagai berikut :



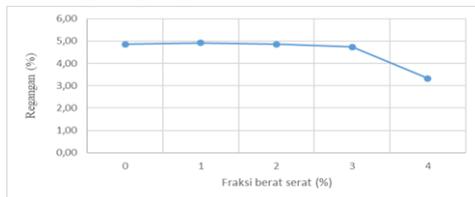
Gambar 6. Grafik Tegangan Tiap Perlakuan



Gambar 7. Grafik Regangan Tertinggi Tiap Fraksi Berat Serat



Gambar 8. Grafik Pengaruh Fraksi Berat Serat Terhadap Tegangan dan Modulus Elastisitas



Gambar 9. Grafik Modulus Elastisitas Tiap Perlakuan

Berdasarkan tabel 4 Menunjukkan bahwa nilai kekuatan tarik tertinggi terdapat pada fraksi tanpa serat dengan nilai rata-rata kekuatan tarik sebesar 33,33 Mpa dengan modulus elastisitas sebesar 0,69 GPa, kemudian pada fraksi berat serat 1% didapat 29,52 Mpa dengan modulus elastisitas sebesar 0,61 GPa, pada fraksi berat serat 2% didapat hasil rata-rata menurun seiring bertambahnya fraksi berat serat, sementara itu kekuatan tarik terendah terdapat pada fraksi berat serat 4%, dengan nilai rata rata kekuatan tarik sebesar 12,76 Mpa dengan modulus elastisitas sebesar 0,38 GPa. penurunan kekuatan komposit disebabkan oleh interaksi antara matriks dengan serat lemah, sehingga beban yang dikenakan pada matriks tidak terjadi transfer dengan baik pada serat, semakin banyaknya serat yang ditambahkan maka kemampuan matriks mengikat serat tersebut makin berkurang dimana hal tersebut membuat bahan komposit menjadi kurang kuat terhadap pembebanan [9].

#### 4.2 Uji Lentur Komposit

Dari hasil pengujian, didapatkan hasil dari kekuatan lentur komposit berupa tegangan maksimum, regangan maksimum dan modulus elastisitas, ditampilkan pada Tabel dibawah ini

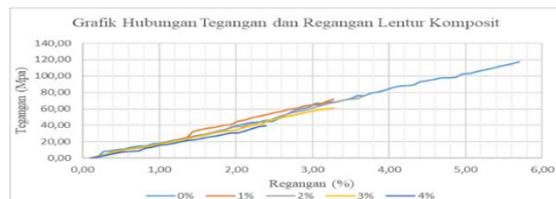
Tabel 4. Perhitungan Kekuatan Lentur Komposit

Pengujian Lentur Komposit			
Fraksi Berat Serat 0%			
Spesimen	$\sigma$ (MPa)	$\epsilon$ (%)	E(GPa)
LK1	117,02	5,70	2,05
LK2	96,12	3,98	2,41
LK3	94,89	3,70	2,57
RATA - RATA	102,68	4,46	2,34
Fraksi Berat Serat 1%			
Spesimen	$\sigma$ (MPa)	$\epsilon$ (%)	E(GPa)
LK1	60,45	7,03	0,86
LK2	71,83	3,28	2,19
LK3	96,98	7,09	1,37
RATA - RATA	76,42	5,80	1,47
Fraksi Berat Serat 2%			
Spesimen	$\sigma$ (MPa)	$\epsilon$ (%)	E(GPa)
LK1	46,44	2,97	1,56
LK2	47,89	3,47	1,38
LK3	76,74	3,69	2,08
RATA - RATA	57,02	3,38	1,67
Fraksi Berat Serat 3%			
Spesimen	$\sigma$ (MPa)	$\epsilon$ (%)	E(GPa)
LK1	60,88	3,28	1,86
LK2	27,22	2,01	1,36
LK3	33,44	2,91	1,15
RATA - RATA	40,51	2,73	1,46
Fraksi Berat Serat 4%			
Spesimen	$\sigma$ (MPa)	$\epsilon$ (%)	E(GPa)
LK1	39,24	2,39	1,64
LK2	36,28	2,19	1,66
LK3	36,45	2,26	1,61
RATA - RATA	37,32	2,28	1,64

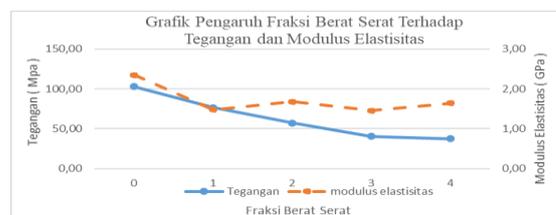
Berdasarkan data diatas, dapat dibuat grafik hubungan antara kekuatan tarik, regangan tarik dan modulus elastisitas sebagai berikut :



Gambar 10. Grafik Tegangan Tiap Perlakuan



Gambar 11. Grafik Regangan Tertinggi Tiap Fraksi Berat Serat



Gambar 12. Grafik Pengaruh Fraksi Berat Serat Terhadap Tegangan dan Modulus Elastisitas



Gambar 13. Grafik Pengaruh Fraksi Berat Serat Terhadap Regangan Lentur

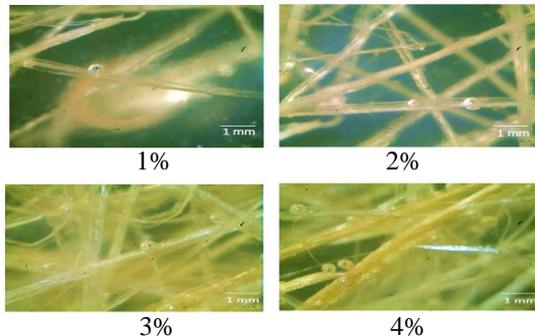
Dari grafik di atas menunjukkan kekuatan lentur tertinggi ada pada fraksi tanpa serat dengan nilai rata rata 102,68 Mpa dengan modulus elastisitas sebesar 2,34 GPa, kemudian menurun pada fraksi berat serat 1% dan menurun lagi seiring bertambahnya fraksi berat serat, tegangan terendah terdapat pada fraksi berat serat 4% dengan nilai rata-rata 37,32 Mpa dengan modulus elastisitas 1,64 GPa. Penurunan kekuatan lentur disebabkan karena spesimen yang keras dan getas, mengakibatkan nilai defleksi pada pengujian kecil, sehingga sangat berpengaruh pada penurunan regangan [10].serta penurunan kekuatan lentur disebabkan juga karena penambahan serat yang mengakibatkan nilai modulus lentur berkurang, alasannya adalah karena keselarasan serat, interaksi antara serat-matriks dan gelembung muncul selama pembuatan komposit [11].

### 4.3 Pengamatan Makro

Berfungsi untuk menghitung luasan void pada specimen yang telah di uji.

#### 4.3.1 Void

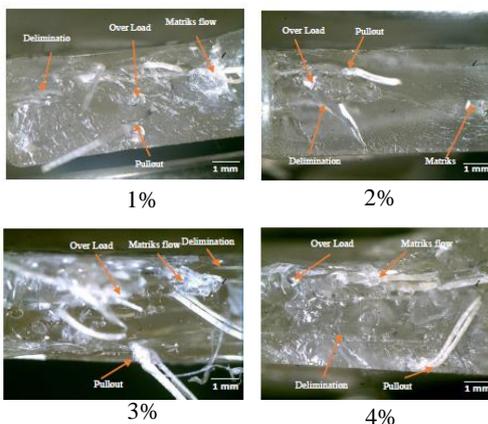
Adapun hasil pengamatan void setiap spesimen uji sebagai berikut.



**Gambar 14. Pengamatan Foto Void Void**

Pada foto makro dengan fraksi berat serat 1% terdapat sebanyak 2 void dengan luas area sebesar 0,44%. fraksi berat serat 2% terdapat sebanyak 2 void dengan luas area 0,55%. Kemudian pada fraksi berat serat 3% terdapat 5 void dengan luas area sebanyak 1,9% dan pada fraksi berat serat 4% menunjukkan sebanyak 9 void dengan luas area sebesar 3,2%, adanya void yang terjebak didalam spesimen komposit menyebabkan terjadinya penurunan sifat mekanik dari komposit[12].

#### 4.3.2 Patahan



**Gambar 15. Pengamatan Foto atahan**

Pada patahan uji specimen dengan fraksi berat serat 1% terdapat matriks flow dengan orientasi sebesar 11,8%. Sedangkan pada patahan specimen dengan fraksi berat serat 2% memiliki matriks flow sebesar 21,9%, patahan specimen dengan fraksi berat serat 3% terdapat *matriks flow* dengan luas area sebesar 26,8%, Dan pada patahan specimen dengan fraksi berat serat 4% dengan orientasi matriks flow dengan luas area sebesar 32,7%.

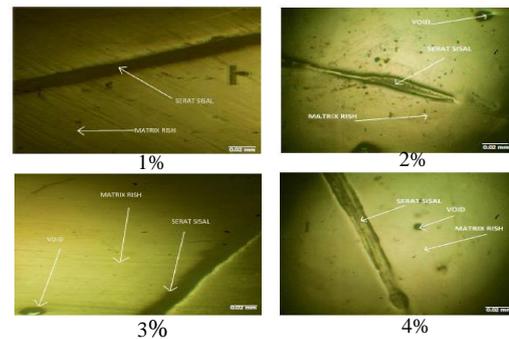
Dari pembahasan diatas, semakin besar luas area matriks flow maka tingkat kegagalan suatu specimen semakin besar, hal tersebut dikarenakan jumlah serat yang banyak dan tidak menyatu dengan baik Selain itu ikatan antara matriks dan serat yang kurang baik

maka terjadi *pullout* sehingga dapat mempengaruhi kemampuan menahan beban dari material [13]. Sehingga matrik dan penguat akan sulit tercampur secara homogen yang tentu saja akan mempengaruhi kekuatan dari komposit tersebut [14].

### 4.4 Pengamatan Mikro

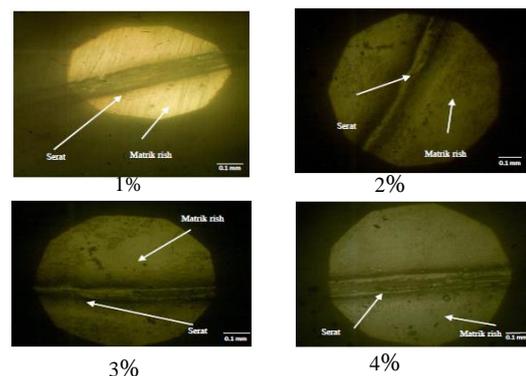
Distribusi serat dan homogenisasi antara serat dan matriks akan terlihat lebih jelas dalam pengamatan foto mikro [14]. Adapun hasil pengamatan foto mikro pembesaran 40x sebagai berikut :

#### 4.4.1 Perbesaran 40x



**Gambar 16. Hasil Foto Mikro Perbesaran 40x**

#### 4.4.2 Perbesar 100x



**Gambar 17. Pengamatan Hasil Foto Mikro Perbesaran 100x**

Dari hasil pengujian pengamatan mikro menggunakan lensa pembesaran 40x dan 100x terdapat beberapa *matrix rish* dan *void*. Penyebab void disebabkan karena belum meratanya resin masuk kedalam rongga pori pori serat sehingga menimbulkan beberapa void di dalamnya [12]. Dengan metode *vacuum* menyebabkan panas yang dihasilkan pada proses tersebut menimbulkan uap air yang terdapat pada serat keluar menuju matrik yang menyebabkan kekuatan komposit mengalami penurunan dikarenakan tekanan yang semakin tinggi dan jumlah serat yang lebih banyak mengakibatkan matriknya menjadi cepat kering dan belum meratanya resin masuk kedalam rongga pori-pori sehingga menimbulkan beberapa void.

## 5 Kesimpulan

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

1. Kekuatan tarik komposit serat sisal yang diekstraksi dengan metode *water retting* dan di cetak dengan metode *vacuum* didapatkan hasil kekuatan tegangan tarik komposit tertinggi ada pada komposit dengan fraksi tanpa serat dengan nilai rata-rata tegangan tarik sebesar 33,33 Mpa. Sedangkan tegangan tarik terendah ada pada fraksi berat serat 4% dengan rata-rata tegangan tarik sebesar 12,76 Mpa
2. Kekuatan lentur tertinggi terdapat pada komposit dengan fraksi tanpa serat dengan nilai rata-rata tegangan lentur sebesar 102,68 Mpa. Sedangkan tegangan lentur terendah terdapat pada komposit dengan fraksi berat serat 4% dengan nilai rata-rata tegangan lentur sebesar 37,32 Mpa atau terjadi penurunan sebesar 65,36 Mpa.

## Daftar Pustaka

- [1] Suhdi, dkk, 2016, *Analisa Kekuatan Mekanik Komposit Seratsabut Kelapa (Cocos Nucifera)* Jurnal Teknik Mesin Vol. 2 No. 1.
- [2] Flegel H, 2007, *Daimler Chrysler Uses Natural Fiber Composites in Engine Components.*
- [3] Schwart, M.M, 1984, *Composite Materials Handbook* , Mcgraw Hill Inc, New York.
- [4] Gibson, Ronald F, 1994, *Principles Of Composite Material Mechanics*, New York : Mc-Graw Hill, INC.
- [5] Gapsari, dkk, 2010, *Pengaruh Fraksi Volume Terhadap Kekuatan Tarik Dan Lentur Komposit Resin Berpenguat Serbuk Kayu*, Jurnal rekayasa Mesin, Vol. 1 No. 2, 59-64.
- [6] Hestiawan, H., Jamasri, Kusmono, 2017, *Pengaruh Penambahan Katalis Terhadap Sifat Mekanis Resin Poliester nurmawati Tak Jenuh*, Jurnal Teknosia Vol. 3 No. 1.
- [7] Bisanda E.T.N., Ansell M.P, 1991, *The effect of silane treatment on the mechanical and physical properties of sisal-epoxy composites.* Composites Science and Technology. No. 41. pp.165-178.
- [8] Jamasri, Diharjo, K., Handiko, G.W., 2005, *Studi Perlakuan Alkali terhadap Sifat Tarik Komposit Limbah Serat Sawit Poliester.* Prosiding SNTTM-IV, Denpasar-Bali, hal. G3.23-28..

- [9] Ratni Kartin dkk., 2002, *Pembuatan dan Karakteristik Komposit Polimer Berpenguat Serat Alam*, Jurnal Sains Material Vol. 3 No. 3.
- [10] Muh. Budi nur Rahman, dkk, 2008, *Studi Optimasi Peningkatan Kekuatan Bending Komposit Berpenguat Serat Nanas Nanasan (Bromeliaceae) Kontinu Searah*, Jurnal Ilmiah Semesta Teknika Vol 11, No 2.
- [11] M. Zuhri, M. Yusoff, S. Mohd Sapuan, N. Ismail, and R. Wirawan, *“Mechanical properties of short random oil palm fibre reinforced epoxy composites,* Sains Malaysiana, vol. 39, no. 1.
- [12] Yusuf Rizal Fauzi dkk, 2016, *Pengaruh Tekanan Vacuum Terhadap kekuatan Tarik dan Kekuatan Lentur Pada Biokomposit Serat Puruh Tikus (Eleocharis Dulcis)*, Jurnal Rekayasa Mesin Vol.7, No.3.
- [13] Suryawan dkk, 2019, *Kekuatan Tarik dan Lentur pada Material Komposit Berpenguat Serat Jelatang*, Jurnal Energi Dan Manufaktur Vol 12, No.1.
- [14] Rahmat Iskandar Fajri dkk, 2013, *Sifat Mekanik Komposit Serat Sansevieria Cylindrica Dengan Variasi Fraksi Volume Bermatrik*, Jurnal Teknik Mesin Vol 1, No.2.



Rafi Purwadi telah menyelesaikan studi program sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2017 sampai 2021. Ia menyelesaikan studi program sarjana dengan topik penelitian “Karakteristik Mekanik Poliester Berpenguat Serat Sisal Yang Diekstraksi Dengan Metode *Water Retting* Di Cetak Teknik *Vacuum*”.

Bidang penelitian yang diminati adalah topik yang berkaitan dengan komposit, khususnya berkaitan dengan serat alam.

# Analisis Efektivitas *Oil Cooler Generator Thrust Bearing* Pada Unit 2 di PLTM Parmonangan

Steven Owen Yosua Siagian, I.N. Suprpta Winaya, I.G.N. Putu Tenaya  
*Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali*

---

## Abstrak

Untuk menjaga kehandalan produksi PLTM Parmonangan harus menggunakan alat-alat yang membantu efektivitas efektif yaitu diantaranya ialah *Oil Cooler Generator Thrust Bearing*. Penelitian ini bertujuan menganalisis laju perpindahan panas aktual, NTU dan efektivitas *oil cooler generator thrust bearing* sesudah *maintenance 1* dan *maintenance 2*. Berdasarkan hasil analisis data yang dilakukan, perubahan nilai NTU, laju perpindahan panas aktual mempengaruhi dan berbanding lurus dengan efektivitas. Sesudah *maintenance 1* nilai efektivitas menurun seiring berjalannya waktu pengoperasian dari 40,29% menjadi 27,03%. Setelah dilakukan *maintenance* efektivitas *oil cooler* meningkat kembali dari 27,03% menjadi 40,27%. Pada hari 1 sampai hari 13 nilai efektivitasnya sama, setelah dari hari ke 13 sampai hari ke 17 nilai efektivitasnya mulai menurun. Bahkan nilai efektivitas sesudah *maintenance 2* lebih rendah dari sesudah *maintenance 1* disebabkan oleh berjalannya waktu pengoperasian. Maka dari itu dilakukannya penjadwalan *maintenance* yang teratur agar selalu menjaga kondisi efektivitas dengan baik.

Kata kunci: *Oil Cooler, Efektivitas, Maintenance, NTU*

## Abstract

To maintain the reliability of the Parmonangan PLTM production, you must use auxiliary equipment that can work optimally, including the *Oil Cooler Generator Thrust Bearing*. This study aims to analyze the actual heat transfer rate, NTU and the effectiveness of the *oil cooler generator thrust bearing* after *maintenance 1* and *maintenance 2*. After *maintenance 1*, the effectiveness value decreased over time from 40.29% to 27.03%. After *maintenance*, the effectiveness of the *oil cooler* increased again from 27.03% to 40.27%. On day 1 to day 13 the effectiveness value is the same, after from day 13 to day 17 the effectiveness value begins to decrease. Even the effectiveness value after *maintenance 2* is lower than after *maintenance 1* due to the running time of operation. Therefore, regular *maintenance scheduling* is carried out in order to always maintain good conditions of effectiveness.

Keywords: *Oil Cooler, effectiveness, Maintenance, NTU*

---

## 1. Pendahuluan

Di era modern ini, listrik sudah menjadi sumber yang utama bagi setiap manusia. Kebutuhan energi listrik nasional di sektor industri, komersial, rumah tangga dan transportasi ditaksir akan terus mengalami peningkatan hingga tahun 2050 dengan presentase sekitar 6% tiap tahunnya atau mencapai 7,4 kali lipat dibandingkan tahun 2016 [1]. Peningkatan tersebut mengarah pada diperlukannya suatu sistem yang dapat menyediakan energi listrik nasional secara memadai. Disamping itu, pemerintah Indonesia juga lagi mengembangkan Pembangkit Listrik Energi Baru Terbarukan sebagai pengganti sumber energi utama pembangkit listrik dan mengurangi emisi gas rumah kaca.

Penerapan EBT dari 14% yang digunakan untuk pembangkitan berdasarkan data kementerian ESDM 2019 meliputi PLTA, PLTM, PLTMh, PLTS, PLTSa, PLT Biogas, PLT Biomassa, PLTP, PLTB. Dari semua EBT tersebut penggunaan energi air (PLTA, PLTM, PLTMh) menjadi yang terbesar mencapai 51% dari total pembangkitan EBT tersebut [2]. Indonesia yang mempunyai sumber air yang berbentuk danau maupun sungai yang mengalirkan air setiap detiknya berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik. PLTM merupakan pembangkit yang memanfaatkan air yang dialirkan melalui pipa

pesat (penstock) kemudian masuk ke dalam turbin, yang selanjutnya menghasilkan energi listrik oleh generator yang disatukan dengan turbin.

Untuk menjaga kondisi Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro ini selalu optimal dalam beroperasi, maka diperlukan peralatan-peralatan bantu yang handal dan dalam kondisi baik seperti *oil cooler*. *Oil cooler* memiliki dampak terhadap pembangkit listrik itu sendiri[3]. *Oil Cooler Generator Thrust Bearing* merupakan salah satu komponen pendukung pembangkit listrik tenaga Minihidro agar tetap beroperasi optimal, yang berfungsi untuk mendinginkan oli yang digunakan melumasi dan mendinginkan *generator thrust bearing* dengan media pendingin adalah air yang dipompakan dari *inlet penstock* sehingga terjadi perpindahan kalor dari temperatur rendah (air dari inlet penstock) mendinginkan temperatur tinggi (oli dari generator thrust bearing).

Oleh karena itu, dalam penelitian kali ini penulis akan menganalisis efektivitas *oil cooler generator thrust bearing* pada kondisi sesudah *maintenance 1* dan sesudah *maintenance 2*.

## 2. Landasan Teori

### 2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM)

Dengan munculnya Peraturan Menteri ESDM Nomor 50 Tahun 2017 mengenai Pemanfaatan Energi Terbarukan buat penyediaan energi listrik diperlukan bisa mempertinggi pengembangan PLTM/MH menggunakan melibatkan pembangun swasta [2]. Pembangkit listrik tenaga minihidro (PLTM) adalah bagian dari pembangkit listrik yang membangkitkan energi listrik menggunakan tenaga air sebagai sumber penghasil energi listrik. PLTM adalah pembangkit yang ramah lingkungan karena menggunakan energi baru terbarukan (renewable) dimana air sebagai sumber utama. Syarat untuk bisa dikembangkannya PLTM adalah adanya debit air yang relatif cukup dan adanya beda ketinggian [4].

## 2.2 Generator

Generator merupakan komponen utama pembangkit listrik, di mana tegangan yang diinduksikan pada gulungan tergantung pada kuat medan magnet, panjang penghantar dalam kumparan dan kecepatan putaran. Generator yang dihubungkan pada poros yang sama dengan turbin air, memiliki tumpuan poros yang berfungsi sebagai penahan beban generator pada poros. Generator dioperasikan secara terus menerus maka dari itu agar menghindari panas berlebihan diperlukan sistem pendinginan. Sistem pendinginan sangat dibutuhkan untuk mengurangi panas yang muncul pada oli yang digunakan sebagai pelumasan karena gesekan bantalan (bearing) dengan poros turbin dan pendingin generator [5]. Minyak pelumas melakukan penyerapan panas dari bantalan poros sehingga bantalan poros tidak mengalami panas yang berlebihan. Agar pertukaran kalor ini berjalan dibutuhkan sebuah *oil cooler*.

## 2.3 Oil Cooler Shell and Tube

*Oil cooler shell and tube* ialah berupa sebuah cangkang berbentuk silinder (shell) dan pipa-pipa yang didesain berada sejajar di dalam cangkang (tubes). Alat penukar kalor model ini merupakan jenis alat penukar panas yang menurut konstruksinya dicirikan dengan adanya sekumpulan *tube* yang dipasangkan di dalam *shell* berbentuk silinder dimana 2 jenis fluida yang saling bertukar panas mengalir secara terpisah, masing-masing melalui sisi *tube* dan sisi *shell*. 1 cairan mengalir di dalam *tube*, sementara cairan lain dialirkan dalam *shell*. Prinsip kerja dari jenis ini adalah dua fluida yang berbeda suhu, yang satu dialirkan dalam *tube* dan yang lainnya dalam *shell* sehingga bersentuhan secara tidak langsung dan secara otomatis kalor dari fluida yang temperaturnya lebih tinggi berpindah ke fluida yang memiliki temperatur lebih rendah.

## 2.4 Laju Aliran Massa Fluida ( $\dot{m}$ )

Merupakan nilai perpindahan massa fluida per satuan waktu. Jumlah nilai laju alir massa fluida dipengaruhi oleh densitas fluida ( $\rho$ ) dan debit fluida ( $Q$ ) yang akan melalui sebuah penampang. Sebab itu didapatkan persamaan dibawah ini:

$$\dot{m} = \rho \times Q \quad (1)$$

## 2.5 Laju Perpindahan Panas Aktual ( $Q_{Act}$ )

Laju perpindahan panas aktual adalah dimana panas yang dilepaskan oleh fluida panas atau yang diserap oleh fluida dingin secara aktual, dimana dapat dicari melalui persamaan dibawah ini [6] :

$$Q_{Act} = C_h (T_{h,1} - T_{h,2}) \quad (2)$$

$$Q_{Act} = C_c (T_{c,2} - T_{c,1}) \quad (3)$$

## 2.6 Analisis Heat Exchanger: Efektivitas ( $\epsilon$ ) - Metode NTU

Efektivitas heat exchanger diartikan sebagai suatu perbandingan antara laju perpindahan panas yang dilakukan (aktual) dengan laju perpindahan panas secara maksimum yang kemungkinan terjadi. Dengan demikian, perlu menghitung laju perpindahan panas aktual ( $Q$ ) dan laju perpindahan panas maksimum yang mungkin dilakukan ( $Q_{max}$ ). Diawali dengan menghitung nilai laju kapasitas kalor ( $C$ ) [7]:

$$C = c_p \times \dot{m} \quad (4)$$

Dengan nilai perhitungan laju kapasitas kalor  $C_c < C_h$ , dengan demikian laju perpindahan panas maksimum yang dapat dicari :

$$Q_{max} = C_c (T_{h,i} - T_{c,i}) \quad (5)$$

Jika perhitungan nilai laju kapasitas kalor  $C_h < C_c$ , nilai laju perpindahan panas maksimum dapat diperoleh juga dari :

$$Q_{max} = C_h (T_{h,i} - T_{c,i}) \quad (6)$$

Dapat juga digunakan perumpamaan  $C_{min}$  dipakai sebagai nilai laju kapasitas kalor paling rendah antara  $C_c$  (fluida dingin) dan  $C_h$  (fluida panas), maka bisa disederhanakan menjadi persamaan:

$$Q_{max} = C_{min} (T_{h,i} - T_{c,i}) \quad (7)$$

Setelah itu, untuk mencari perhitungan nilai efektivitas *heat exchanger* didapatkan:

$$\epsilon = \frac{Q_{Act}}{Q_{max}} \quad (8)$$

Untuk mencari perhitungan jumlah satuan perpindahan panas (NTU), kita dapat memakai:

$$NTU = \frac{UA}{C_{min}} = \frac{UA}{(\dot{m} \times c_p)_{min}} = \frac{UA}{C_{min}} \quad (9)$$

## 3. Metode Penelitian

Penelitian ini mengkaji analisis keadaan *oil cooler* generator thrust bearing dengan melakukan pengamatan di PLTM Parmonangan untuk mengetahui efektivitas *oil cooler generator thrust bearing*, yang harus melaksanakan tugasnya untuk menjaga temperatur oil agar tidak terjadi kerusakan pada bearing. Variabel yang ada seperti dibawah ini:

### 1. Variabel bebas

Adapun variabel bebas penelitian ini yaitu:

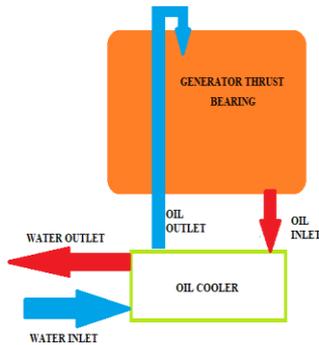
- Sesudah *maintenance* 1.
- Sesudah *maintenance* 2.

### 2. Variabel terikat

Variabel terikat yang ada pada penelitian ini adalah:

- Laju perpindahan panas aktual ( $Q_{Act}$ )

- Number of transfer unit (NTU)
- Efektivitas ( $\epsilon$ )



Gambar 1. Skematik oil cooler generator thrust bearing

#### 4. Hasil Data

##### 4.1 Hasil Data Observasi Lapangan

Pencatatan data operasi unit 2 di PLTM Parmonangan. Berikut data hasil observasi lapangan sesudah *maintenance* 1 dan sesudah *maintenance* 2 yang dikumpulkan dari logsheet harian data.

Tabel 1 Observasi Lapangan Sesudah *Maintenance* 1

Hari	Thout (°C)	Thin (°C)	Tcin (°C)	Tcout (°C)
1	28.50	34.42	19.72	20.36
2	28.50	34.23	19.83	20.38
3	28.50	34.26	19.70	20.41
4	28.50	34.31	19.85	20.41
5	28.50	34.27	19.77	20.37
6	28.50	34.35	19.80	20.38
7	28.50	34.20	19.78	20.40
8	28.50	34.33	19.80	20.42
9	28.50	34.40	19.84	20.42
10	28.50	34.34	19.72	20.42
11	28.50	34.34	19.76	20.41
12	28.50	34.20	19.70	20.40
13	28.50	34.20	19.70	20.40
14	29.50	34.00	19.90	20.45
15	30.00	34.47	19.77	20.40
16	30.00	34.60	19.70	20.40
17	30.50	34.50	19.70	20.40

Tabel 2. Observasi Lapangan Sesudah *Maintenance* 2

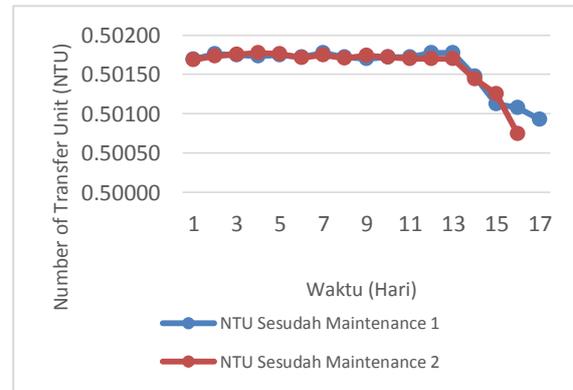
Hari	Thout (°C)	Thin (°C)	Tcin (°C)	Tcout (°C)
1	28.50	34.43	19.70	20.40
2	28.50	34.31	19.85	20.41
3	28.50	34.25	19.70	20.40
4	28.50	34.20	19.70	20.40

5	28.50	34.23	19.73	20.37
6	28.50	34.37	19.82	20.43
7	28.50	34.26	19.70	20.41
8	28.50	34.39	19.71	20.40
9	28.50	34.29	19.70	20.41
10	28.50	34.35	19.83	20.50
11	28.50	34.40	19.70	20.40
12	28.50	34.40	19.70	20.40
13	28.50	34.40	19.70	20.50
14	29.50	34.09	19.7	20.5
15	30.00	34.12	19.68	20.4
16	31.00	34.50	19.71	20.4

#### 4.2 Pembahasan

Setelah mendapatkan data hasil perhitungan maka dapat disimpulkan bahwa :

##### 4.2.1 Grafik Kondisi Operasi terhadap NTU



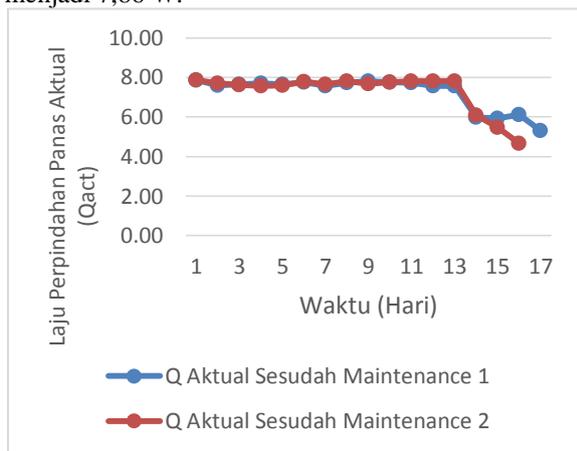
Gambar 2. Grafik NTU Sesudah *Maintenance* 1 dan Sesudah *Maintenance* 2

Dari gambar 2 dapat dilihat penurunan nilai NTU pada hari yang ke 17 setelah *maintenance* 1. Nilai NTU menurun disebabkan oleh meningkatnya waktu pengoperasian yang menimbulkan semakin melambat panas yang terserap pada *lubrication oil* seiring berjalannya waktu pengoperasian.. Dimana nilai NTU pada kondisi sesudah *maintenance* 1 dan sesudah *maintenance* 2 sangat mengalami perubahan yang hampir sama. Namun Nilai NTU meningkat setiap setelah dilakukan *maintenance*.

##### 4.2.2 Kondisi Operasi dengan Laju Perpindahan Panas Aktual

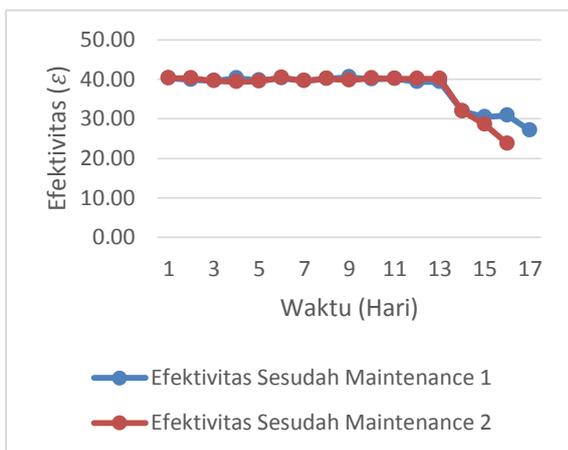
Berdasarkan perhitungan laju perpindahan panas aktual dapat disimpulkan pada gambar 3 dibawah dapat dilihat bahwa hari ke 17 terjadi perpindahan panas aktual turun, namun setelah dilakukannya *maintenance* pada *oil cooler generator thrust bearing* laju perpindahan panas kembali ke normal. Penurunan laju perpindahan panas aktual seiring berjalannya waktu pengoperasian. Hal ini berindikasi pada waktu pengoperasian yang sudah seharusnya dilakukan *maintenance*. Laju perpindahan panas aktual sesudah *maintenance* 1 dari 7,85 W menjadi 5,31 W. Sesudah dilakukan

*maintenance 2* kembali meningkat dari 5,31 W menjadi 7,86 W.



**Gambar 3. Grafik Laju Perpindahan Panas Aktual Sesudah Maintenance 1 dan Sesudah Maintenance 2**

#### 4.2.3 Hubungan Kondisi Operasi dengan Efektivitas ( $\epsilon$ )

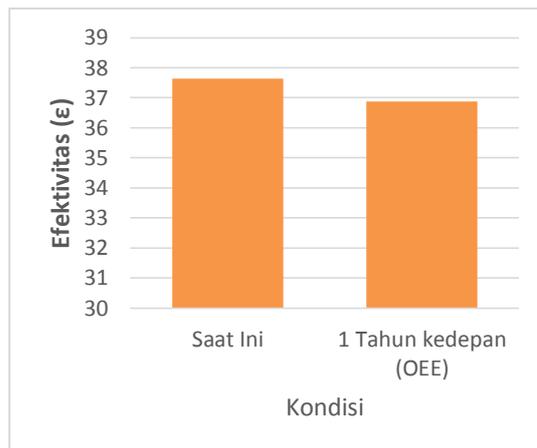


**Gambar 4. Grafik Efektivitas Sesudah Maintenance 1 dan Sesudah Maintenance 2**

Efektivitas *Oil cooler Generator Thrust Bearing* mengalami penurunan dari hari ke 13 sampai hari ke 17. Bahkan nilai efektivitas sesudah *maintenance 2* lebih rendah dari sesudah *maintenance 1*. *Maintenance* dilakukan pada saat efektivitas 27,03 % di hari ke 17 sesudah *maintenance 1*, setelah melakukan *maintenance* pada *Oil Cooler Generator Thrust Bearing* efektivitas langsung meningkat menjadi 40,27% di hari pertama sesudah *maintenance 2*.

#### 4.2.4 Hubungan Efektivitas dengan OEE

OEE (Overall Equipment Effectiveness) adalah percobaan perhitungan yang dapat digunakan untuk menentukan nilai Efektivitas mesin atau peralatan yang tersedia. Berdasarkan hasil pengolahan data, nilai OEE pada grafik dibawah merupakan nilai OEE *Oil cooler Generator Thrust Bearing* pada saat kondisi 1 tahun ke depan. Setelah dilakukannya perencanaan *maintenance* selama setahun dengan pola yang teratur seperti perencanaan maka hal ini dapat kita lihat hasilnya pada gambar 5 grafik dibawah ini.



**Gambar 5. Grafik Hubungan Efektivitas Saat ini dengan 1 tahun kedepan (OEE)**

Dari gambar 5 dapat dilihat efektivitas pada saat ini sebesar 37,64 dan pada kondisi satu tahun kedepan dengan melakukan perawatan sesuai rencana setiap 15 hari mendapatkan nilai efektivitas 36,88 % yang berarti baik. Menurut perhitungan kondisi efektivitas menilai baik dapat dilihat pada gambar 4 sesuai grafik 4 keadaan baik masih pada nilai efektivitas >30 %.

#### 5. Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan setelah melakukan *maintenance 1* dan *maintenance 2* pada *Oil Cooler Generator Thrust Bearing*, dapat disimpulkan bahwa :

- Diperoleh penurunan laju perpindahan panas aktual sesudah *maintenance 1* dari 7,85 W menjadi 5,31 W. Sesudah dilakukan *maintenance 2* kembali meningkat dari 5,31 W menjadi 7,86 W yang kemudian Kembali menurun pada hari ke 13.
- Nilai NTU juga mengalami penurunan pada *maintenance 1* disebabkan oleh meningkatnya waktu pengoperasian yang menimbulkan semakin melambat panas yang terserap pada *lubrication oil* seiring berjalannya waktu pengoperasian.
- Efektivitas *Oil cooler Generator Thrust Bearing* juga mengalami penurunan. Setelah dilakukan *maintenance 2* efektivitas *oil cooler* meningkat kembali dari 27,03% menjadi 40,27%. Pada hari 1 sampai hari 13 nilai efektivitasnya sama, setelah dari hari ke 13 sampai hari ke 17 nilai efektivitasnya mulai menurun. Bahkan nilai efektivitas sesudah *maintenance 2* lebih rendah dari sesudah *maintenance 1*.
- *Maintenance* dilakukan sesuai jadwal yang direncanakan, maka didapat nilai efektivitas yang baik, hal ini ditunjukkan pada efektivitas saat ini 37.64% menjadi 36.88% pada satu tahun ke depan (OEE).

#### Daftar Pustaka

- [1] Yudiartono, Anindhita, Agus Sugiyono, Laode M.A. Wahid, Adiarso, 2018, *Sustainable Energy for Land Transportation*, ISBN 978-602-1328-05-7

- [2] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2019, **Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT. PLN (PERSERO) 2019–2028**. Keputusan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 39 K/20/Mem/2019.
- [3] Handayani, S. U., Ariwibowo, D., and NH Kusuma, F., 2012, **Kajian Eksperimental Kelayakan dan Performa Alat Penukar Kalor tipe Shell and Tube Single Pass dengan metode Bell Delaware**, ISBN 978-602-99334-1-3.
- [4] Andi Prasetyanto, Nizar Mahrus, Sri Sangkawati, Robert J. Kodoatie, 2013, **Perencanaan Pembangkit listrik Tenaga Mini hidro (Pltm) Palumbungan, Purbalingga**. Jurnal Karya Teknik Sipil UNDIP Vol. 2, No. 1.
- [5] Mukhnizen, 2010, **Perawatan Oil cooler Tipe Plate di PLTA Singkarak**, Jurnal Mahasiswa Universitas Andalas Vol.1, No.2.
- [6] Cengel, Y. A., 2015, **Heat Exchanger**, PM World Journal, 4, 1–9.
- [7] Bergman, T. L., Lavine, A. S., Incropera, F. P., and Dewitt, D. P., 2011, **Fundamentals Of Heat And Mass Transfer**, 7th ed., (L. Ratts, S. Dumas, and T. Kulesa, Eds., USA, 705–739.

	<p><b>Steven Owen Yosua Siagian</b> menyelesaikan studi Strata-1 di Universitas Udayana, Program Studi Teknik Mesin, Pada tahun 2021.</p>
<p>Topik penelitian skripsi yang diminati adalah bidang konversi energi.</p>	

# Studi Eksperimental Karakteristik Laju Pemompaan Kapiler Pada Material Karbon Bambu Betung

Gusti Maulana Pangestu, Ainul Ghurri dan Hendra Wijaksana  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

Sistem pendingin merupakan salah satu kebutuhan utama setiap orang terutama di Indonesia yang mempunyai iklim tropis. Sistem pendingin merupakan bagian dari sistem pengkondisian udara, yakni sistem yang sanggup mengkondisikan temperatur udara ataupun ruang jadi rendah daripada temperatur sekitar. Di Indonesia suhu udara rata-rata 30oC- 35oC dengan tingkatan kelembaban udara 70%- 80%. Untuk mendapatkan kenyamanan temperatur udara tentu memerlukan tenaga listrik yang besar, dengan pemakaian sistem AC untuk saat ini, yang dimana pemakaian refrigeran pada sistem AC bisa memunculkan lingkungan yang kurang baik serta pula memicu terbentuknya kenaikan pemanasan global yang terus menjadi besar. Karena mempunyai dampak lingkungan yang kurang baik, dibuatlah sistem pendingin yang lebih ramah lingkungan. Salah satunya adalah sistem *direct evaporative cooling* yang memanfaatkan panas sensibel udara luar untuk menguapkan lapisan air yang terdapat pada material pad yang basah. Penelitian ini mempunyai tujuan untuk menganalisis karakteristik laju pemompaan kapiler pada material karbon bambu betung. Sebagai bahan penelitian, bambu dapat menghasilkan arang yang berpori dengan luas permukaan spesifik yang tinggi dan porositas yang tinggi. Dalam penelitian ini menggunakan temperatur karbonisasi 400°C (TK 400), 500°C (TK 500), 600°C (TK 600), 700°C (TK 700) dan 800°C (TK 800). Hasil dari seluruh pengujian menunjukkan bahwa spesimen bambu betung dengan temperatur karbonisasi 500oC (TK 500) memiliki laju pemompaan kapiler tertinggi yakni sebesar 0.0478 g/s.

**Kata kunci:** Bambu betung, *direct evaporative cooling*, karbonisasi, laju pemompaan kapiler, temperatur

## Abstract

Cooling system is one of the necessities in everyday life. Especially in Indonesia with tropical climate. The cooling system is part of the air conditioning system, which is a system that is able to condition the air temperature or the room temperature lower than the ambient temperature. At Indonesia the average air temperature is 30oC- 35oC with an air humidity level of 70%- 80%. To get a comfortable air temperature certainly requires a large amount of electricity, with the use of air conditioning system, where the use of refrigerant in the air conditioning system can pollute the environment and also trigger the formation of a rise in global warming that continues to be a big problem. Because it has a poor environmental impact, a more energy-efficient and environmentally friendly cooling system is made. One the energy-efficient cooling systems is a *direct evaporative cooling* system that utilizes the sensible heat of the outside air to vaporize the layer of water contained in the wet pad material. This study aims to analyze the characteristics of capillary pumping rate in bamboo betung carbon material. As raw materials, bamboo could produce porous charcoall with a specific surface area and high porosity. Carbonization temperatures of 400°C (TK 400), 500°C (TK 500), 600°C (TK 600), 700°C are used (TK 700) and 800°C (TK 800). The results of all tests showed that betung bamboo specimen which is carbonized at 500oC (TK 500) has the highest capillary pumping rate of 0.0478 g/s.

**Keywords:** Bamboo betung, *direct evaporative cooling*, carbonization, capillary pumping rate, temperature

## 1. Pendahuluan

Sistem pendingin merupakan salah satu kebutuhan utama disetiap orang. Khususnya di Indonesia yang mempunyai iklim tropis. Di Indonesia suhu udara rata-rata 30°C- 35°C dengan tingkatan kelembaban udara 70%- 80%, dimana pembangunan gedung- gedung apartemen, perkantoran serta pusat- pusat perbelanjaan yang pesat memerlukan sistim pendingin untuk menjaga temperatur pada keadaan udara nyaman, standar kenyamanan udara yang diperlukan ialah pada temperatur udara 22°C hingga 25°C serta buat kelembaban relatif 40% hingga 60% [1]. Untuk mendapatkan kenyamanan temperatur udara tentu memerlukan tenaga listrik yang besar, dengan pemakaian sistem *air conditioning* (AC) untuk saat ini, dimana diperkirakan hampir 60% energi listrik

yang ada pada bangunan besar seperti pabrik, dan perkantoran diperlukan sistem AC. Di samping itu pemakaian *refrigerant* pada sistem AC bias memicu terbentuknya kenaikan pemanasan global yang terus menjadi permasalahan besar.

Karena mempunyai dampak lingkungan yang kurang baik, berkembanglah sistem pendingin yang lebih ramah lingkungan. Salah satu sistem pendingin hemat energi adalah sistem pendingin *evaporative*, dan salah satu sistem pendingin *evaporative* adalah sistem *direct evaporative cooling* yang memanfaatkan panas sensibel udara luar untuk menguapkan lapisan air yang terdapat pada material *pad* yang basah. *Direct evaporative cooling* biasanya terdiri dari *mechanical fan*, *cooling pad*, dan pompa air. Material *cooling pad* yang digunakan dalam sistem *direct evaporative cooling* biasanya material yang mempunyai pori, seperti misalnya khusi *palash*

fiber, serabut kelapa, charcoal, aspen material dan lain-lain yang berfungsi untuk menyerap dan menampung air dalam jumlah yang cukup pada cooling pad itu sendiri, untuk penyediaan air saat berlangsungnya proses evaporasi pada permukaan material cooling pad.

Dapat dilihat dari pemaparan diatas, dimana dengan belum terlalu banyaknya penelitian yang mengkaji karakteristik laju pemompaan kapiler (capillary pumping rate) pada material bambu betung yang telah mengalami proses karbonisasi (carbonized betung bamboo), maka penulis terdorong untuk melakukan penelitian tentang studi eksperimental karakteristik laju kapilaritas pada bambu betung terkarbonisasi. Dengan demikian topik penelitian yang akan penulis angkat dalam hal ini adalah studi eksperimental karakteristik laju pemompaan kapiler pada material karbon bambu betung.

Permasalahan yang akan dikaji, yaitu bagaimana karakteristik laju pemompaan kapiler pada material karbon bambu betung sebagai pad material sistem direct evaporative cooling

Ada beberapa batasan yang ditetapkan dalam penelitian kali ini meliputi:

1. Material yang digunakan yakni bambu betung lokal Bali.
2. Temperatur karbonisasi yang ditetapkan adalah 400°C, 500°C, 600°C, 700°C, dan 800°C.
3. Karbonisasi dalam lingkungan bebas oksigen (inert atmosphere)
4. Pengujian yang dilakukan akan meliputi proses karbonisasi dan pengujian kapilaritas.

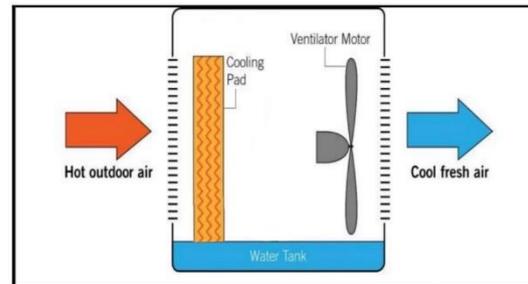
## 2. Dasar Teori

### 2.1. Sistem Direct Evaporative Cooling

Sistem Direct Evaporative Cooling adalah sistem pendinginan udara yang menggunakan prinsip evaporative cooling. Pendinginan evaporative ini biasa disebut dengan pendinginaan adiabatik (berlangsung pada entalpi konstan) yang merupakan proses pengkondisian udara yang dilakukan dengan membiarkan kontak langsung antara air dengan udara sehingga terjadi proses evaporasi, dimana terjadi perubahan panas sensibel udara yang didinginkan (udara luar) menjadi panas laten pada air di permukaan cooling pad. Perpindahan panas sensibel yang terjadi karena perbedaan suhu antara udara dan permukaan cooling pad yang basah, sedangkan panas latent terjadi dari perpindahan masa yang dihasilkan dari proses evaporasi pada permukaan basah cooling pad. Adapun prinsip kerja dan aliran fluida sistem direct evaporative cooling dapat dilihat seperti pada Gambar 1.

Jenis yang paling banyak digunakan bahan pad adalah selulosa bergelombang yang telah diresapi dengan bahan zat pembasah dan garam larut agar tidak mengalami pembusukan. Bahan pad lainnya antara lain adalah Pads dibuat dari aluminium dan

serat dari plastik. Tetapi kedua jenis pads ini relatif mahal dan tidak menunjukkan keunggulan dibandingkan selulosa.



Gambar 1. Prinsip kerja sistem direct evaporative cooling

Jumlah pad yang diperlukan tergantung pada beberapa faktor termasuk jenis bahan yang digunakan. Menurut Martin Karpiscak seorang peneliti di Universitas Arizona, sebuah evaporative cooling pad harus mempunyai:

1. Sifat penyerapan yang baik. Dalam hal ini bahan yang dapat menyerap air, bukan bahayang kedap air
2. Non-reaktif terhadap bahan sekitarnya
3. Lebih rigid dalam keadaan lembab
4. Pori – pori dalam bahan evaporative cooling pad tidak terlalu kecil sehingga mengakibatkan penurunan tekanan.

### 2.2. Material Pad Sistem Direct Evaporative Cooling

Menurut X. Zhao et.al., [2] sistim evaporative cooling memerlukan material yang berpori, untuk memungkinkan terjadinya proses perpindahan panas dan massa antara air dalam material berpori tersebut dengan udara yang dilewatkan (untuk direct evaporative cooling), atau antara udara kering (product air) dan udara basah (working air) untuk indirect evaporative cooling, dan antara udara yang dilewatkan dengan udara basah untuk sistem semi-indirect evaporative cooling. Material yang berpori sangat berperan dalam meningkatkan efisiensi pendinginan dari sistim evaporative cooling.

### 2.3. Pemilihan Material Pad dan Proses Karbonisasi

Dalam penelitian ini pemilihan material menggunakan bambu sebagai material pad, yang kemudian akan dilakukan karbonisasi menjadi arang bambu (bamboo charcoal). Dalam penelitian ini akan lebih dipilih bambu sebagai bahan dasar material pad dibandingkan kayu. Hal ini dikarenakan arang bambu aktif memiliki karakteristik adsorbsivitas yang lebih tinggi dan absorpsivitas yang lebih baik dari arang aktif kayu.

Proses terjadinya karbon aktif yaitu saat peningkatan suhu secara bertahap hingga mencapai 400 °C, Suhu karbonisasi ini didasarkan atas komponen yang terdapat pada bambu. Kandungan utama pada bambu adalah sellulosa, hemiselulosa,

dan lignin, dimana terjadi penghilangan kadar air yang terdapat dalam bambu pada suhu 120 °C - 150 °C, setelah itu terjadi karbonisasi hemiselulosa pada suhu 200 °C - 250 °C, selanjutnya pada suhu 280 °C - 320 °C terjadi karbonisasi selulosa, dan pada suhu 400 °C terjadi karbonisasi lignin. Oleh karena itu, dengan karbonisasi pada suhu 400 °C, Dapat disimpulkan bahwa kandungan air dan komponen-komponen seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang terdapat di dalam bambu diperkirakan sudah hilang sehingga diperoleh kadar karbon yang paling optimum dan terjadi pembentukan dasar porositas pada pori-pori karbon

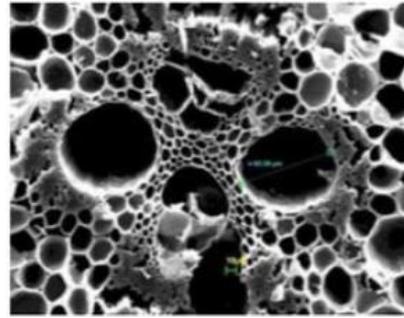
Pemilihan proses karbonisasi dalam penelitian ini didasarkan pada hasil penelitian oleh Yatagi M. et.al., [3] yang melakukan penelitian tentang pengaruh temperatur karbonisasi terhadap daya serap (absorpsi) arang aktif bambu pada beberapa larutan, dan ditemukan bahwa proses karbonisasi bambu pada temperatur karbonisasi yang tinggi antara 300-900 °C, mampu menghasilkan material arang bambu yang memiliki daya serap (absorpsivitas) yang tinggi pada larutan kimia yang volatile maupun tidak volatile. Kemampuan absorpsi air untuk material pad sangatlah penting untuk menjamin ketersediaan air dalam material *pad*, guna berlangsungnya proses evaporasi yang menghasilkan efek pendinginan udara

#### 2.4. Proses karbonisasi

Proses karbonisasi bertujuan untuk menghasilkan porositas awal. *charcoal* yang belum diproses menjadi karbon aktif memiliki pori-pori yang sebagian besar tertutup oleh hidrokarbon, dan komponeen lain seperti abu, air, nitrogen, dan sulfur, sehingga keaktifannya atau daya serap yang dimiliki rendah [4]. Untuk meningkatkan daya serap arang yang tinggi, maka bamboo tersebut dapat di ubah menjadi karbon aktif melalui proses karbonisasi. Karbonisasi adalah proses pirolisis pada material organik dalam kondisi bebas oksigen yang menghasilkan sebuah residu *solid* yang Mempunyai kandungan karbon yang tinggi.

Proses karbonisasi juga dapat didefinisikan sebagai proses penguraian material yang memiliki struktur karbon yang kompleks seperti kayu, sisa-sisa hasil pertanian melalui pemanasan, yang akan menghasilkan elemen karbon dan senyawa kimia yang masih mengandung karbon dalam struktur kimianya. Sebagai contoh dapat dilihat pada Gambar 2 struktur pori mikro yang terbentuk pada bambu setelah proses karbonisasi.

Produk dari proses karbonisasi adalah berupa arang (*charcoal*) yang merupakan produk hasil dekomposisi material organik alami atau sintesis. Arang hasil karbonisasi ini, akan memiliki permukaan dalam reaktif yang tinggi dan kandungan sulfur yang rendah.



Gambar 2. Mikro struktur bambu setelah dikarbonisasi

#### 2.5. Kapilaritas

Kapilaritas adalah peristiwa turun atau naiknya zat cair Bambu betung yang sudah terkarbonisasi adalah material yang mempunyai pori kecil yang banyak. Kapilaritas disebabkan oleh interaksi di antara molekul-molekul dinding bahan dengan zat cair. Interaksi antara molekul itu selanjutnya kita beri nama gaya adhesi dan gaya kohesi.

Dalam usaha meningkatkan jumlah massa air yang mampu dipompakan secara kapiler pada *pad material* sistem *direct evaporative cooling* tersebut dapat dilakukan uji kapilaritas untuk menganalisa laju pemompaan kapiler. Laju pemompaan kapiler ini nantinya akan sangat mempengaruhi besarnya laju perpindahan panas pada material. Untuk menjamin berlangsungnya proses *evaporasi* pada permukaan *pad material*, diperlukan *capillary pumping rate* yang tinggi pada *pad material*, karena hal tersebut akan meningkatkan laju *evaporasi* yang terjadi. Peningkatan laju *evaporasi* akan meningkatkan laju perpindahan panas dan massa pada material berpori tersebut.

Untuk menghitung besar laju pemompaan kapiler pada bambu betung yang sudah di karbonisasi dalam penelitian ini pengujian laju pemompaan kapiler dilakukan pada sampel pengujian dengan posisi *vertical*. Dengan demikian laju kapiler secara eksperimental dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut

$$LPK = \frac{\Sigma Akm.Mair}{Waktu} = \frac{Msat}{tsat} \quad (1)$$

LPK = laju pemompaan kapiler (gram/s)

Msat = massa air jenuh material (gram)

Tsat = waktu massa air jenuh tercapai (detik)

### 3. Metode Penelitian

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

#### 3.1 Alat

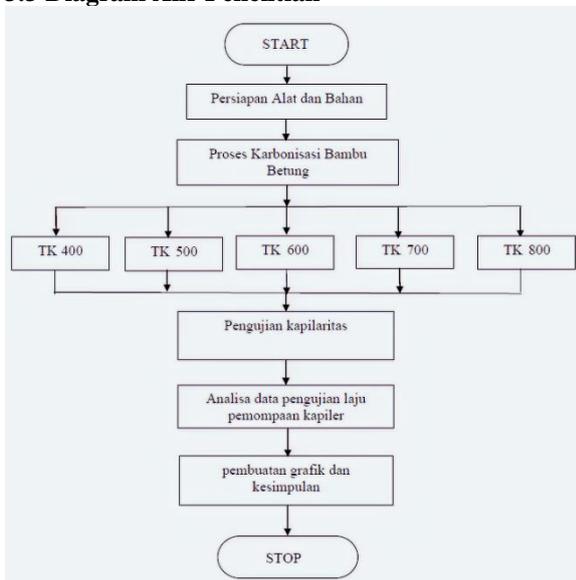
1. Reaktor untuk memanaskan bambu sampai sampai temperatur 400°C, 500°C, 600°C, 700°C, dan 800°C hingga menjadi *charcoal*.
2. *Nitrogen* digunakan untuk menghilangkan oksigen yang ada didalam bambu saat proses karbonisasi
3. *Stopwatch* digunakan untuk mengukur waktu karbonisasi

4. Timbangan Digital dipakai untuk mengukur berat massa sebelum pengujian dan sesudah pengujian untuk mengetahui massa bambu
5. Gergaji digunakan untuk memotong bamboo
6. *Cutter*
7. Oven digunakan untuk proses moisture bambu yang akan di karbonisasi hingga kadar air yang didalam bambu berkurang
8. *Holder* digunakan untuk menggantungkan bambu betung yang sudah terkarbonisasi untuk uji laju pemompaan kapiler
9. Reservoir digunakan untuk menampung air yang akan diserap oleh bambu betung yang sudah terkarbonisasi.

### 3.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah bambu betung sebagai bahan untuk pengujian karbonisasi.

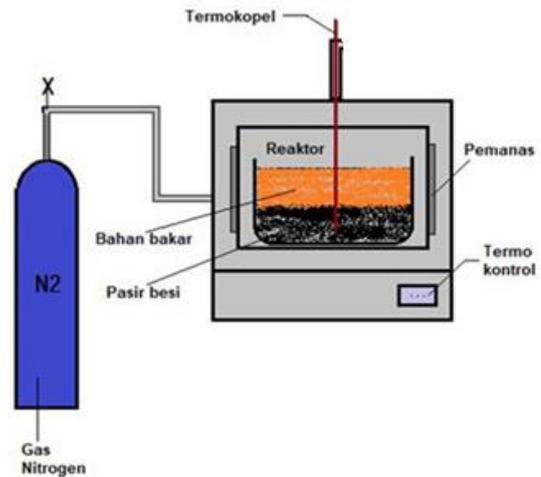
### 3.3 Diagram Alir Penelitian



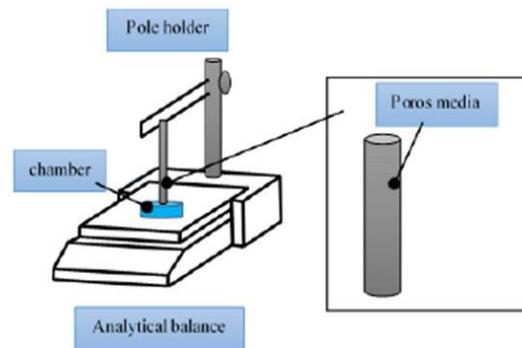
Gambar 3. Diagram alir penelitian

### 3.4 Metode Uji

Dalam penelitian ini akan dilakukan pengujian yaitu proses karbonisasi, dan laju pemompaan kapiler, dimana masing-masing tahap tersebut memiliki prosedur pengujian tersendiri. Proses karbonisasi bambu betung dilakukan dengan alat seperti pada Gambar 3 pengujian dilakukan pada temperatur 400°C, 500°C, 600°C, 700°C dan 800°C tanpa proses aktivasi dan *holding time*. Proses pengujian kapilaritas dilakukan dengan alat seperti pada Gambar 4, pengujian dilakukan dengan cara mencelupkan spesimen uji kedalam *reservoir* yang berisi air, kemudian dihitung massa air yang berkurang persatuan waktu.



Gambar 3. Skematik peralatan proses karbonisasi



Gambar 4. Skematik pengujian laju pemompaan kapiler

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1 Hasil Proses *Moisture*

Setelah dilakukannya proses moisture yang telah dirancang, didapatkan kadar kering dari ke lima sampel bambu betung berdasarkan perbandingan massa sampel sebelum proses moisture dan setelah proses moisture. Dimana proses *moisture* dilakukan pada dapur listrik (oven) dengan temperatur 120 °C selama 6 jam.

Tabel 1. Hasil data massa bambu betung

Spesimen	Massa Bambu (gr)				
	TK 400	TK 500	TK 600	TK 700	TK 800
BB1	11.48	11.74	11.8	11.36	11.1
BB2	8.38	8.58	8.42	7.68	8.1

Tabel 1 menunjukkan hasil pengambilan data massa spesimen bambu betung sebelum moisture (BB1) dan setelah moisture (BB2). Dimana terdapat 5 spesimen pada masing-masing temperatur karbonisasi.

## 4.2 Proses Karbonisasi

Proses karbonisasi dilakukan di dalam *furnace* pada temperatur 400°C - 1200°C. Arang bambu juga dapat dibagi menjadi dua yaitu pirolisis primer pada temperatur 400°C - 500°C dan pirolisis sekunder pada temperatur 600°C - 800°C. Maka dari itu pada penelitian ini, ditentukan temperatur untuk pengujian karbonisasi pada spesimen bambu betung adalah 400°C (TK 400), 500°C (TK 500), 600°C (TK 600), 700°C (TK 700), dan 800°C (TK 800). Dimana terdapat 5 spesimen dengan ukuran  $P \times L \times T = 2.5 \text{ cm} \times 1.7 \text{ cm} \times 3.1 \text{ cm}$ , pada masing-masing temperatur karbonisasi yang telah ditentukan. Pengujian karbonisasi dilakukan pada kondisi bebas oksigen (*inert atmosphere*) dengan hasil akhir berupa residu solid (*charcoal*). Pengujian karbonisasi dalam penelitian kali ini dilakukan tanpa *holding time*, yang berarti pengujian karbonisasi telah selesai ketika *thermo control* mengidentifikasi bahwa temperatur karbonisasi telah mencapai temperatur 400°C, 500°C, 600°C, 700°C, dan 800°C pada masing-masing spesimen bambu betung.



Gambar 5. Spesimen material karbon bambu betung

## 4.3 Laju Pemompaan Kapiler

Pengujian laju pemompaan kapiler (*capillary pumping rate*) ini dimulai dengan mencatat perubahan massa reservoir awal untuk setiap satuan waktu, dimana pencatatan waktu dan massa reservoirnya berbeda-beda untuk setiap spesimen. Hal ini disebabkan oleh karena masing-masing spesimen memiliki waktu dan jenuh (*saturated*) yang berbeda-beda pula. Adapun pencatatan perubahan massa reservoir terhadap waktu dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Massa dan waktu jenuh material karbon TK 400, TK 500, TK 600 TK 700 dan TK 800

Material TK 400			Material TK 500		
Waktu (detik)	M.resv (gram)	Σ Akm. M.air (gram)	Waktu (detik)	M.resv (gram)	Σ Akm. M.air (gram)
0.00	17.6535	0.0000	0.00	16.0546	0.0000
13.4	16.7207	0.9328	6.00	14.7170	1.3376
26.8	16.4756	1.1779	12.0	14.6707	1.3839
40.2	16.4630	1.1905	18.0	14.6389	1.4157
53.6	16.3943	1.2592	24.0	14.6222	1.4324
67.0	16.2930	1.3605	30.0	14.6194	1.4352

Material TK 600			Material TK 700		
Waktu (detik)	M.resv (gram)	Σ Akm. M.air (gram)	Waktu (detik)	M.resv (gram)	Σ Akm. M.air (gram)
0.00	16.5606	0.0000	0.00	17.9628	0.0000
4.60	16.2356	0.3250	15.8	17.3901	0.5727
9.20	16.1040	0.4566	31.6	17.3003	0.6625
13.8	16.0904	0.4702	47.4	17.2629	0.6999
18.4	16.0807	0.4799	63.2	17.2554	0.7074
23.0	16.0805	0.4801	79.0	17.2473	0.7155

Material TK 800		
Waktu (detik)	M.resv (gram)	Σ Akm. M.air (gram)
0.00	16.3355	0.0000
11.0	16.1928	0.1427
22.0	16.1396	0.1959
33.0	16.1186	0.2169
44.0	16.1002	0.2353
55.0	16.0949	0.2406

Berdasarkan hasil dan perumusan tersebut diatas maka dapat ditentukan laju pemompaan kapiler masing-masing material karbon bambu betung, seperti yang dapat dilihat pada Tabel 3 dibawah ini:

Tabel 3. Laju pemompaan kapiler

Spesimen	Msat (gram)	tsat (detik)	Laju Pemompaan Kapiler (gram/s)
TK 400	1.3605	67	0.0203
TK 500	1.4352	30	0.0478
TK 600	0.4801	23	0.0209
TK 700	0.7155	79	0.0091
TK 800	0.2406	55	0.0044

Berdasarkan pemaparan diatas dan hasil yang didapat pada Tabel 3. dapat digambarkan grafik laju pemompaan kapiler masing-masing material karbon bambu betung tersebut diatas, seperti dapat dilihat pada Gambar 6. dibawah ini.



Gambar 6. Laju pemompaan kapiler material karbon bambu betung

Gambar 6. menunjukkan laju pemompaan kapiler yang dihasilkan oleh masing-masing material karbon bambu betung. Dapat dilihat pada Gambar 6, bahwa laju pemompaan kapiler tertinggi dihasilkan oleh material TK 500 dengan laju sebesar 0.478 g/s. Hal ini disebabkan oleh karena material TK 500 memiliki jumlah massa jenuh air terbesar yakni 1.4352 g. Hal ini terjadi karena Semakin kecil sudut kontak yang terbentuk antara fluida dengan sumbu kapiler maka sifat keterbasahan dari sumbu kapiler meningkat sedangkan semakin besar sudut kontak terbentuk maka sumbu kapiler tersebut memiliki sifat keterbasahan yang semakin kecil yang berarti daya kapilaritas semakin kecil. Daya pompa kapilaritas pada sumbu berpori sangat berpengaruh oleh porositas dari sumbu tersebut dimana semakin besar porositas dari material maka semakin besar daya kapilaritas dari material tersebut. Sedangkan laju pemompaan kapiler terendah dihasilkan oleh material TK 800 yakni sebesar 0.0044 g/s. Besarnya laju pemompaan kapiler sangat tergantung dari jumlah massa jenuh air dan waktu pencapaian jenuh air pada material tersebut. Semakin besar jumlah massa air pemompaan dengan waktu pemompaan lebih singkat akan menghasilkan laju pemompaan kapiler yang besar, semakin tinggi laju pemompaan, maka jumlah massa air yang dapat dipompakan akan menjadi lebih besar. Dari pengujian ini diharapkan material yang memiliki laju pemompaan kapiler yang lebih tinggi, untuk lebih menjamin tersedianya massa air dalam material, yang akan digunakan untuk proses evaporasi pada material pad.

## 5. Kesimpulan

Material karbon bambu betung dengan temperatur karbonisasi 500°C, (TK 500) memiliki laju pemompaan kapiler tertinggi yakni sebesar 0.0478 g/s, dengan waktu pemompaan selama 30 detik. Sedangkan laju pemompaan kapiler terendah dihasilkan oleh material karbon bambu betung dengan temperatur karbonisasi 800°C (TK 800) yakni sebesar 0.0044 g/s, dengan waktu pemompaan selama 55 detik. Berdasarkan karakteristik diatas, Hal ini terjadi dikarenakan material karbon bambu betung dengan temperatur karbonisasi 500°C mempunyai sudut kontak yang kecil yakni sebesar 19.3°, maka material tersebut memiliki sifat keterbasahan yang semakin besar yang berarti daya kapilaritas semakin besar. Dan porositas dari material tersebut memiliki porositas yang besar yakni 17.3%, maka semakin besar juga daya kapilaritas dari material tersebut.

## Daftar Pustaka

[1] ASHRAE, 1989, ANSI/ASHRAE Standard 62-1989, *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. American Society of Heating Refrigerating and Air- Conditioning Engineers.

- [2] Zhao, Xudong, Shuli Liu, and Saffa B. Riffat, 2008, *Comparative study of heat and mass exchanging materials for indirect evaporative cooling systems*, Building and Environment Vol.43 No.11, pp. 1902-1911.
- [3] Yatagi, M., Ito, R., Ohira, T., & Oba, K., 1995, *Effect of charcoal on purification of wastewater*, Mokuza Gakkaishi, Vol.41, pp.425–432.
- [4] Lempang, M., 2014, *Pembuatan dan kegunaan arang aktif*. Buletin Eboni, Vol.11, No.2, pp. 65-80.

	<b>Gusti Maulana Pangestu</b> menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana, Program Studi Teknik Mesin pada tahun 2021.
Topik penelitian yang diminati ialah bidang konversi energi	

# Studi Eksperimental Karakteristik Tekanan Kapilaritas Material Karbon Bambu Betung sebagai Material Pad Sistem *Direct Evaporative Cooling*

Naufal Refadi Putra, Wayan Nata Septiadi, Hendra Wijaksana  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

Pemanasan global (*global warming*) adalah suatu bentuk ketidakseimbangan ekosistem di bumi akibat terjadinya proses peningkatan suhu rata-rata atmosfer, laut, dan daratan di bumi. Salah satu penyebab pemanasan global ialah pemakaian pendingin ruangan atau AC (*Air Conditioner*) karena penggunaan freon pada AC dapat merusak atau menipiskan lapisan ozon. Maka dari itu untuk mengurangi dampak pemanasan global dari pemakaian AC, digunakanlah sistem pendingin alternatif yang hemat energi dan ramah lingkungan yaitu sistem pendingin *direct evaporative cooling*. Proses pendinginan pada sistem *direct evaporative cooling* diberikan dari proses penguapan yang terjadi pada *cooling pad* yang telah terbasahi oleh air. Hal ini dikarenakan *cooling pad* merupakan media pendingin dan filter sehingga terjadi perpindahan panas pada *cooling pad*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik tekanan kapiler material karbon bambu betung sebagai material *Cooling pad* pada sistem *direct evaporative cooling*. Penelitian ini menggunakan variasi temperatur karbonisasi 500°C ( $T_1$ ), 600°C ( $T_2$ ), 700°C ( $T_3$ ) dan 800°C ( $T_4$ ). Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa spesimen  $T_3$  (700°C) memiliki tekanan kapilaritas terbesar yakni 24213,882 N/m<sup>2</sup> atau 24,214 kPa sedangkan tekanan kapiler terendah terdapat pada spesimen  $T_2$  (600°C) yaitu 15851,337 N/m<sup>2</sup> atau 15,851 kPa. Maka pada material karbon bambu betung dengan suhu karbonisasi 500°C hingga 800°C menghasilkan range tekanan kapilaritas antara 15,8 kPa hingga 24,2 kPa.

**Kata Kunci:** *Direct Evaporative cooling, karbonisasi, bambu betung, kapilaritas*

## Abstract

*Global warming is a form of ecosystem imbalance on earth due to the process of increasing the average temperature of the atmosphere, sea and land on earth. One of the causes of global warming is the use of air conditioners because the use of freon in air conditioners can damage or deplete the ozone layer. To reduce the impact of global warming from the use of air conditioning, an alternative cooling system that is energy efficient and environmentally friendly is used, namely the direct evaporative cooling system. The cooling process in the direct evaporative cooling system is given from the evaporation process that occurs on the cooling pad that has been wetted by water. This is because the cooling pad is a cooling medium and a filter so that heat transfer occurs on the cooling pad. This study aims to analyze the capillary pressure characteristics of bamboo betung carbon material as a cooling pad material in a direct evaporative cooling system. This study used variations in carbonization temperature of 500°C ( $T_1$ ), 600°C ( $T_2$ ), 700°C ( $T_3$ ) and 800°C ( $T_4$ ). The results of this study indicate that the specimen  $T_3$  (700°C) has the largest capillary pressure, which is 24213,882 N/m<sup>2</sup> or 24,214 kPa, while the lowest capillary pressure is found in specimen  $T_2$  (600°C), which is 15851,337 N/m<sup>2</sup> or 15,851 kPa. It can be concluded that in bamboo betung carbon material with a carbonization temperature of 500°C to 800°C, it produces a capillary pressure range between 15.8 kPa to 24.2 kPa.*

**Keywords:** *Direct Evaporative cooling, carbonization, betung bamboo, capillarity*

## 1. Pendahuluan

Pemanasan global (*global warming*) saat ini tidak hanya melanda daerah beriklim tropis, tetapi juga melanda daerah beriklim dingin, seperti di Alaska, Siberia dan Kanada mengalami kenaikan suhu 4°C. Bahkan di daerah kutub sudah terlihat bongkahan-bongkahan es yang mulai mencair [1]. Salah satu penyebab pemanasan global ialah pemakaian pendingin ruangan atau AC (*Air Conditioner*) karena karena penggunaan freon pada AC dapat merusak atau menipiskan lapisan ozon [2].

Dikarenakan hal tersebut, sebagai bentuk mengurangi dampak pemanasan global dari pemakaian AC, digunakanlah sistem pendingin alternatif yang lebih ramah lingkungan dan hemat

energi ialah sistem pendingin *direct evaporative cooling*. Sistem pendingin ini menggunakan penguapan untuk memberikan efek pendinginan yang terjadi pada *cooling pad* yang telah dibasahi oleh air. Karena hal tersebut, dalam sistem *direct evaporative cooling*, bagian terpentingnya ialah pada *cooling pad*.

Banyak penelitian tentang material *cooling pad* yang telah dilakukan untuk menganalisis pengaruh material tersebut saat digunakan sebagai *cooling pad*, seperti material *pumice stones*, *volcanic tuff* dan *greenhouse shading* [3]. Namun material tersebut relatif kurang ramah lingkungan dan mahal. Salah satu alternatif material *cooling pad* yang murah dan ramah lingkungan ialah bambu, dikarenakan bambu memiliki daya serap yang tinggi dan relatif cepat

untuk dipanen. Tetapi bambu perlu dikarbonisasi terlebih dahulu, supaya stuktur porinya membesar dan daya serapnya meningkat. Daya serap suatu material bisa cari dengan mengetahui tekanan kapilaritasnya. Namun belum ada publikasi mengenai tekanan kapilaritas pada arang bambu betung yang digunakan sebagai material *pad*. Maka dari itu, penelitian ini bertujuan mencari tau tekanan kapilaritas pada arang bambu betung. Permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian ini sebagai berikut:

Bagaimana karakteristik tekanan kapiler material karbon bambu betung sebagai material *pad* pada sistem *direct evaporative cooling*.

Penelitian ini memiliki beberapa tetapan batasan yaitu :

1. Material utama yang ditetapkan ialah bambu betung local bali.
2. Air merupakan fluida yang ditetapkan.
3. Semua proses dilakukan pada temperatur ruangan.
4. Luas pori dihitung sama dengan luas lingkaran

## 2. Dasar Teori

Karbonisasi merupakan suatu proses pirolisis material organik yang kompleks dan melibatkan banyak reaksi sehingga akan menghasilkan residu solid yang mempunyai kandungan karbon yang tinggi. Temperatur karbonisasi sangat berpengaruh terhadap ukuran pori yang dihasilkan. Semakin tinggi temperatur karbonisasi, maka semakin kecil ukuran pori dengan jumlah yang banyak [4]. Hasil dari proses karbonisasi ialah berupa arang yang memiliki porositas yang tinggi.

Bambu dipilih sebagai bahan material *pad* untuk sistem *direct evaporative cooling* dikarenakan arang aktif bambu memiliki adsorsivitas yang tinggi karena memiliki area permukaan spesifik yakni 150-400 m<sup>2</sup>/g. Selain itu, arang aktif bambu juga mempunyai banyak struktur pori mikro dan rogga-rongga kecil didalamnya. Arang aktif bambu yang mempunyai struktur pori yang tinggi akan memiliki absorsivitas yang tinggi juga, sehingga memiliki daya serap yang tinggi dan mampu menyerap partikel-partikel sulfur dan sulfur dioksida. Selain itu juga mampu meningkatkan kemampuan menahan air yang tinggi [5]. Bambu dapat dikarbonisasi pada temperatur 300°C-900°C. Pada karbonisasi suhu 150°C-300°C, terjadi penghilangan kadar air dan menghasilkan karbon padatan. Kemudian pada karbonisasi suhu 300°C-600°C, akan menghasilkan gas, karbon padatan dan uap. Sedangkan untuk karbonisasi sekunder terjadi pada temperatur diatas 600°C dan menghasilkan karbon monoksida, *hydrogen* dan hidrokarbon [6].

Kapilaritas merupakan suatu kemampuan cairan mengalir pada ruang sempit tanpa adanya bantuan atau energi tambahan dengan arah yang berlawanan gravitasi. Gaya tarik menarik antara permukaan pori dengan molekul zat cair menyebabkan terjadinya

kapilaritas, karena menimbulkan daya dorong pada cairan. Hal-hal yang mempengaruhi tekanan kapiler ialah tegangan permukaan fluida, sudut kontak dan jari-jari pori [7]. Besarnya daya kapiler (*capillary force*) pada material berpori dapat dicari menggunakan persamaan sebagai berikut, dengan nilai tegangan permukaan diambil dari nilai tegangan permukaan air pada suhu ruangan (20°C) :

$$\Delta P_{cap} = \frac{2\sigma}{r_{peff}} \quad (1)$$

$$r_{peff} = \frac{r_p}{\cos \theta} \quad (2)$$

$\Delta P_{cap}$  : Tekanan kapiler (Pa = N/m<sup>2</sup> = kg/m.s<sup>2</sup>)

$\theta$  : Sudut kontak (°)

$r_{peff}$  : Jari-jari efektif pori (m)

$r_p$  : Jari pori (m)

$\sigma$  : Tegangan permukaan cairan (0,0728 N/m)

## 3. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat beberapa variabel untuk membatasi penelitian ini sebagai berikut :

1. Variabel bebas  
Penelitian ini memiliki variabel bebas yaitu temperatur karbonisasi 500°C, 600°C, 700°C dan 800°C.
2. Variabel Terikat  
Variabel terikat pada penelitian ini adalah tekanan kapilaritas (*capillary force*).

Penelitian ini menggunakan alat dan bahan sebagai :

1. Bambu betung
2. Gergaji
3. Oven
4. Peralatan Karbanisasi
5. Peralatan Uji Sem
6. Lampu
7. Syring Pump
8. Kamera
9. Holder



Gambar 1. Peralatan karbonisasi

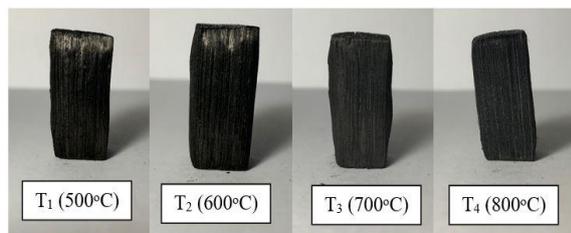


Gambar 2. Peralatan uji SEM

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1. Proses Karbonisasi

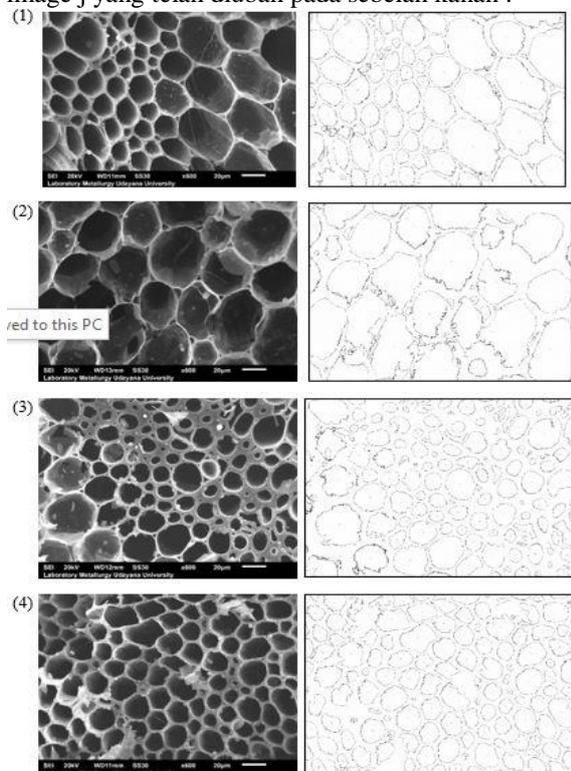
Proses karbonisasi bambu betung yang telah dipotong dengan ukuran 2,5 cm x 1,7 cm x 3,1 cm, dilakukan pada temperatur 500°C, 600°C, 700°C, dan 800°C, dengan lamanya proses pendinginan selama 6 jam setelah reaktor mencapai temperatur yang diinginkan. Proses ini dilakukan juga pada suhu ruangan dan dalam keadaan bebas oksigen (*inert atmosphere*). Berikut merupakan hasil karbonisasi bambu betung yang telah berubah menjadi arang :



Gambar 3. Hasil karbonisasi bambu betung

### 4.2. Hasil Uji Scanning Electron Microscope (SEM)

Pengujian ini dilakukan dengan alat khusus yaitu alat *Scanning Electron Microscope* untuk melihat struktur pori bambu betung yang telah dikarbonisasi. Setelah mendapatkan foto struktur pori dari masing-masing spesimen, dilakukan pengubahan gambar dengan aplikasi image j. Berikut adalah hasil foto alat uji SEM pada sebelah kiri dan hasil gambar image j yang telah diubah pada sebelah kanan :



Gambar 4. Hasil Uji SEM dan analisis image J pada spesimen (1)T<sub>1</sub> 500°C, (2)T<sub>2</sub> 600°C, (3)T<sub>3</sub> 700°C, dan (4)T<sub>4</sub> 800°C.

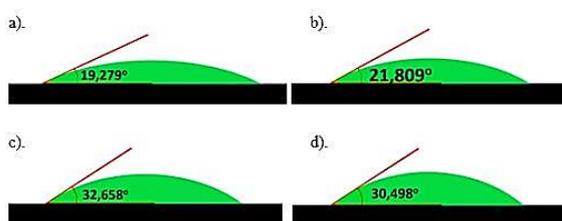
Data jari-jari pori didapatkan dari analisis image J pada gambar 4 sebelah kanan. Berikut hasil analisis image J untuk setiap spesimen:

Tabel 1. Jari-jari pori setiap spesimen

Nama Spesimen	Jari-jari Pori (µm)	Jari-jari Pori (m)
T <sub>1</sub> (500°C)	7,040	7,040 x 10 <sup>-6</sup>
T <sub>2</sub> (600°C)	8,524	8,524 x 10 <sup>-6</sup>
T <sub>3</sub> (700°C)	5,057	5,057 x 10 <sup>-6</sup>
T <sub>4</sub> (800°C)	5,822	5,822 x 10 <sup>-6</sup>

### 4.3. Pengujian Sudut Kontak

Pengujian ini berfungsi untuk mengetahui sudut kontak antara fluida dengan permukaan pori bambu betung. Data sudut kontak didapatkan video saat droplet jatuh ke permukaan pori yang selanjutnya video tersebut dianalisis menggunakan image J. berikut adalah. Berikut adalah hasil analisis image J pada setiap spesimen :

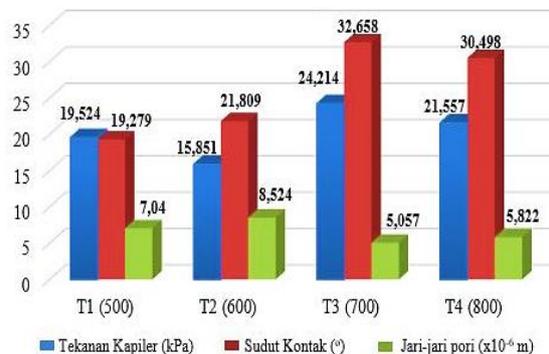


Gambar 5. Sudut kontak a).T<sub>1</sub> 500°C, b).T<sub>2</sub> 600°C, c).T<sub>3</sub> 700°C, dan d).T<sub>4</sub> 800°C.

Gambar 5 menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu karbonisasi maka semakin besar sudut kontak. Hal ini dikarenakan ukuran jari-jari pori mempengaruhi sudut kontak, semakin kecil ukuran jari-jari pori semakin tinggi sudut kontak.

### 4.4. Karakteristik Tekanan Kapilaritas

Kapilaritas adalah kemampuan cairan mengalir pada ruang sempit tanpa adanya bantuan atau energi tambahan. Dari data yang telah didapatkan sebelumnya, dapat diketahui tekanan kapilaritas dengan menggunakan persamaan (1) dan (2), dimana untuk tegangan permukaan yang dipakai ialah nilai tegangan permukaan air pada suhu 20°C (0,0728 N/m). Berikut hasil tekanan kapilaritas masing-masing spesimen :



Gambar 6. Grafik perbandingan tekanan kapiler, sudut kontak, dan jari-jari pori.

Berdasarkan grafik diatas, spesimen T<sub>3</sub> memiliki nilai tekanan kapiler yang paling tinggi

yaitu 24,214 kPa dan spesimen T<sub>2</sub> memiliki nilai tekanan kapiler yang terendah yaitu 15,851 kPa. Hal ini dikarenakan, semakin kecil pori-pori menyebabkan kemampuan basah (*wettability*) semakin menurun yang membuat sudut kontak semakin membesar, sehingga tekanan kapiler semakin tinggi. Selain itu, pori-pori yang kecil memiliki gaya adhesi lebih tinggi antara permukaan pori dengan fluida, sehingga daya serapnya menjadi lebih tinggi. Maka dari itu, semakin kecil pori-pori, semakin besar tekanan kapilernya.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan mengenai karakteristik tekanan kapilaritas pada material karbon bambu betung dapat disimpulkan bahwa material karbon bambu betung T3 dengan temperatur karbonisasi 700°C memiliki nilai tekanan kapilaritas tertinggi, yaitu 24213,882 N/m<sup>2</sup> atau 24,214 kPa. Sedangkan nilai tekanan kapilaritas terendah terdapat pada spesimen karbon bambu betung T<sub>2</sub> dengan temperature karbonisasi 600°C yakni 15851,337 N/m<sup>2</sup> atau 15,851 kPa. Maka dapat disimpulkan bahwa material karbon bambu betung dengan suhu karbonisasi 500°C hingga 800°C menghasilkan nilai tekanan kapilaritas dengan *range* antara 15,8 kPa hingga 24,2 kPa.

## Daftar Pustaka

- [1] Ramlan, M., 2002, *Pemanasan global (global warming)*, Jurnal Teknologi Lingkungan, 3(1), 30–32
- [2] Majanasastra, B.S., 2015, *Analisis Kinerja Mesin Pendingin Kompresi Uap Menggunakan Fe-36 Sebagai Alternatif Pengganti R-22*, Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Unisma" 45" Bekasi, Vol.3 No.1, pp.97490.
- [3] Gunhan, T., Demir, V., & Yagcioglu, A. K., 2007, *Evaluation of the suitability of some local materials as cooling pads*, Biosystems Engineering, Vol. 96 No.3, pp.369–377
- [4] Isa, S. S. M., Ramli, M. M., Hambali, N., Kasjoo, S. R., Isa, M. M., Nor, N. I. M., Khalid, N., & Ahmad, N. 2016, **Adsorption properties and potential applications of bamboo charcoal: a review**. MATEC Web of Conferences, Vol.78, pp.1097.
- [5] Fitzer, E., Kochling, K.-H., Boehm, H. P., Marsh, H., 1995, *Recommended terminology for the description of carbon as a solid (IUPAC Recommendations 1995)*, Pure and Applied Chemistry, Vol.67 No.3, pp. 473–506.
- [6] Kamaruddin, A., Abdul K.L., Siregar N., Agustina E., Almansyah M., Yamin E.H., Purwanto Y.A., 1999, *Energi dan listrik*

*pertanian*, Institut Pertanian Bogor, Bogor

- [7] Lago, M., & Araujo, M., 2001, *Capillary rise in porous media. Journal of Colloid and Interface Science*, Vol.234 No.1, pp.35–43.

	<b>Naufal Refadi Putra Pratama</b> menyelesaikan pendidikan S1 di Universitas Udayana, Program Studi Teknik Mesin, Tahun 2021.
Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan termodinamika, refrigasi dan perpindahan panas.	

# Perancangan Alat Pembuat Pellet Karbon Aktif dengan Kapasitas Gaya 2 Ton

Paul H. G.R.A.L., I M. Widiyarta dan D.N.K. Putra Negara  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

Karbon aktif dikenal sebagai adsorben universal sedangkan Pellet Karbon Aktif terbuat dengan cara mengekstruksikan bubuk karbon aktif ke dalam tabung berbentuk silinder. Dalam penggunaan pellet karbon aktif, kandungan yang dimilikinya membuatnya sangat ideal untuk pengaplikasian pada sektor industri yang memiliki limbah udara/gas. Pellet karbon aktif yang sekarang ini banyak digunakan di masyarakat dinilai mampu dan dapat menjadi solution untuk mengatasi air pollution yang diakibatkan oleh CO<sub>2</sub>. Hidrolika adalah ilmu yang meneliti arus zat cair melalui pipa-pipa dan pembuluh-pembuluh tertutup, maupun dalam kanal terbuka dan sungai-sungai. Dalam dunia industri penggunaan sistem hidrolis sangat banyak digunakan karena sangat membantu dalam sector tersebut. Pada proses perancangan ini bertujuan untuk menciptakan alat pembuat pellet karbon yang berasal dari karbon aktif. Pada akhirnya, alat ini menggunakan tenaga hidrolis pada proses pengepresan untuk membuat pellet karbon aktif. Gaya yang dihasilkan pada piston cylinder memiliki kapasitas daya dorong sebesar 2 Ton maksimum. Hasil dari proses perancangan ini adalah alat press dengan dimensi yang dimiliki adalah 16,4 cm x 11,4 cm x 46,3 cm. Pengujian dilakukan dengan variasi tekanan, tekanan yang diberikan ialah 14 Psi, 15 Psi, 16 Psi, 18 Psi, 20 Psi, 23 Psi, 25 Psi, dan 27,2 Psi. Tekanan minimum yang diberikan agar pellet tidak pecah adalah 20 Psi, pada tekanan 14 Psi hingga 18 Psi pellet tidak terbentuk dengan baik dan pecah. Gaya yang diterima tiap masing-masing pellet adalah 3.48 N, 7.37 N, 10.83 N, dan 11.68 N.

Kata kunci: karbon aktif, pellet, hidrolika, perancangan, efisiensi

## Abstract

Activated carbon is known as a universal adsorbent while activated carbon pellets are made by extruding activated carbon powder into a cylindrical tube. In the use of activated carbon pellets, its content makes it ideal for applications in the industrial sector that has air/gas waste. Activated carbon pellets which are currently widely used in the community are considered capable and can be a solution to overcome air pollution caused by CO<sub>2</sub>. Hydraulics is the study of the flow of liquids through closed pipes and vessels, as well as in open canals and rivers. In the industrial world the use of hydraulic systems is very widely used because it is very helpful in that sector. In this design process, the aim is to create a carbon pellet maker made of activated carbon. In the end, this tool uses hydraulic power in the pressing process to make active carbon pellets. The tool produced by canopads and piston cylinder has a maximum thrust capacity of 2 tons. The result of this design process is a press tool with dimensions that are 16.4 cm x 11.4 cm x 46.3 cm. The test is carried out with variations in pressure, the pressures given are 14 Psi, 15 Psi, 16 Psi, 18 Psi, 20 Psi, 23 Psi, 25 Psi, and 27.2 Psi. The minimum pressure given so that the pellet does not break is 20 Psi, at a pressure of 14 Psi to 18 Psi the pellet does not form properly and breaks. The forces received by each pellet are 3.48 N, 7.37 N, 10.83 N, and 11.68 N.

Keywords: activated carbon, pellets, hydraulics, design, efficiency

## 1. Pendahuluan

Karbon aktif adalah karbon yang dikenal bersifat *adsorben universal*. Kebutuhan karbon aktif di Indonesia masih terbilang relatif tinggi karena disebabkan besarnya permintaan pasar baik itu dalam negeri ataupun luar negeri. Permintaan pasar atas karbon aktif diprediksikan naik 8,15 % pertahun Yang membuat angka 2,1 juta metrik ton menjadi permintaan pasar terhadap karbon aktif pada tahun 2018 yang selalu meningkat ke tiap tahunnya[1].

Pellet karbon aktif merupakan produk biomassa yang telah dikarbonisasi dan dihancurkan menjadi bubuk setelah itu dipadatkan menjadi pellet. Karbon yang telah menjadi pellet difungsikan untuk alternative energy yang terbarukan seperti memasak, bakaran, dan pembangkit listrik yang dapat mengganti peran batu bara dalam penggunaannya[2]. Pellet karbon dinilai sangat mampu dalam

penanggulangan polusi udara yang diakibatkan oleh CO<sub>2</sub> karena daya serap karbon aktif sangat baik.

Hidrolika merupakan sebuah cabang dari ilmu yang meneliti arus zat cair melalui pipa-pipa dan pembuluh-pembuluh tertutup dan sistem hidrolis banyak dipakai dalam berbagai macam industri sehingga ilmu pengetahuan tentang ilmu sistem hidrolika sangat penting peranannya dalam berbagai macam cabang industri

Proses perancangan ini memiliki tujuan yaitu membuat alat press untuk membuat pellet karbon aktif dengan mengutamakan teknologi hidrolika pada proses pengepresan dan penggerak utama hidrolika adalah tenaga manusia. Dalam perancangan ini, diharapkan mesin yang dibuat dapat beroperasi dengan baik terlebih pada bidang industry dan manufaktur.

## 2. Dasar Teori

### 2.1. Rancang Bangun

Rancang bangun merupakan sebuah kegiatan dalam penerjemahan hasil desain analisa dalam sebuah perangkat lunak yang kemudian akan menciptakan sistem tersebut untuk memperoleh hasil analisa sebuah sistem yang dimasukkan ke dalam bahasa pemrograman untuk mendeskripsikan dengan detail komponen-komponen yang telah diimplementasikan.

### 2.2. Pengelasan

Pengelasan adalah salah satu cara dari berbagai macam cara untuk menyatukan benda padat yang keras seperti logam dengan mencairkannya dengan melalui pemanasan[3]. Disamping itu, konstruksi las juga sangat berguna dalam mengelas cacat pada logam hasil pengecoran logam.

Dari seluruh jenis pengelasan tersebut terdapat dua jenis yang sangat sering digunakan di Indonesia yakni dengan cara penggunaan busur nyala listrik dan las karbit.

### 2.3. Hidrolik

Hidrolik yang berarti *hydraulic* dalam bahasa Inggris yang berarti cairan atau minyak. Dimana prinsip kerjanya memanfaatkan tekanan, yaitu tekanan yang diberikan pada satu silinder akan diteruskan pada silinder yang lain sesuai dengan hukum Pascal.

### 2.4. Sistem Hidrolik

Sistem hidrolik adalah suatu sistem alat untuk menimbulkan aliran fluida (untuk memindahkan sejumlah volume fluida) dan untuk memberikan daya sebagaimana diperlukan[4]. Jenis fluida yang digunakan dalam sistem hidrolika adalah Oli dengan nilai indeks viskositas yang baik.

## 3. Metode Penelitian

Penelitian dan perancangan ini menggunakan peralatan dan bahan sebagaimana mestinya, yaitu:

1. Dongkrak hidrolik.
2. Las Listrik MMAW.
3. Jangka sorong.
4. Meteran.
5. Laptop.
6. AutoDesk Inventor 2017.
7. Ampas Kopi.
8. Dongkrak Hidrolik.
9. Besi Galvanis.
10. Pelat Baja.

### 3.1. Proses Perencanaan

Proses perencanaan bertujuan untuk mengetahui cara kerja dari mesin hidrolik yang pengoperasiannya menggunakan tenaga manusia dan tidak memerlukan mesin dengan transmisi yang terlalu rumit. Berikut adalah merupakan gambar dari alat pembuat pellet karbon aktif yang dibuat.



**Gambar 1. Rancangan alat pembuat pellet karbon aktif**

### 3.2. Mekanisme Kerja Sistem Hidrolik

Sumber yang digunakan dalam pengoperasian alat adalah dengan menggunakan tenaga manusia secara manual, dengan begitu tenaga manusia yang diperoleh dari dorongan tangan mengungkit tuas sehingga fluida oli mengalir ke dalam silinder kerja pada hidrolika. Ketika tuas pengungkit yang bekerja ditarik ke atas, fluida oli akan terkumpul dalam ujung pompa, lalu Ketika tuas pengungkit diturunkan, piston yang berada dalam hidrolik akan menekan oli menuju silinder kerja hidrolika.

### 3.3. Luas penampang cetakan

$$A_c = \frac{1}{4} \pi d^2 \quad (1)$$

$A_c$  = Luas penampang cetakan ( $\text{cm}^3$ )

$d$  = diameter penampang cetakan (cm)

### 3.4. Gaya Pengepressan pada penampang cetakan

$$F_c = P \times A \times g \quad (2)$$

$F_c$  = Gaya pengepressan pada pendorong cetakan (N)

$A$  = Luas permukaan penampang cetakan ( $\text{cm}^3$ )

### 3.5. Luas pump plunger

$$A_p = \frac{1}{4} \pi d^2 \quad (3)$$

$d$  = diameter pump plunger (cm)

### 3.6. Menentukan gaya pada dongkrak hidrolik

$$\frac{F_c}{A_c} = \frac{F_h}{A_p} \quad (4)$$

$F_c$  = Gaya pada penampang (N)

$A_c$  = Luas penampang cetakan ( $\text{cm}^2$ )

$A_p$  = Luas pump plunger ( $\text{cm}^2$ )

$F_h$  = Gaya pada dongkrak hidrolik (N)

### 3.7 Menentukan kekuatan baut

$$W_s = W \times n \quad (5)$$

$W$  = Beban yang diberikan hidrolik (N)

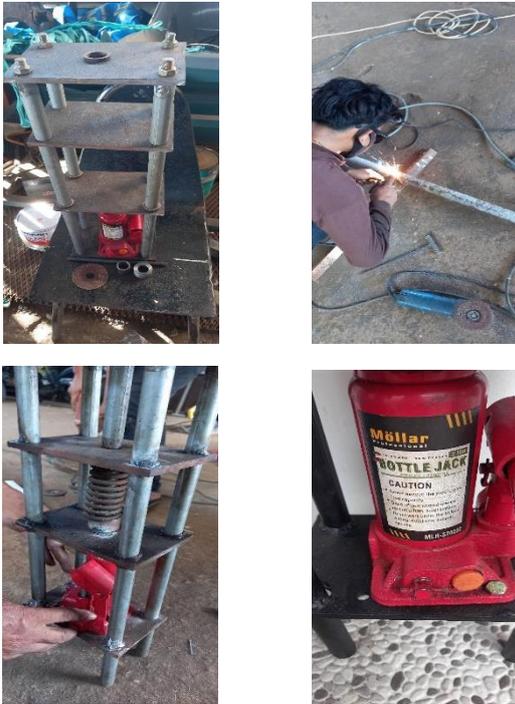
$W_s$  = Tegangan geser pada baut (N)

$n$  = Jumlah baut

#### 4. Hasil dan Pembahasan

##### 4.1. Proses perakitan

Setelah melalui proses perancangan dan penentuan dimensi, maka tahap selanjutnya adalah tahap perakitan dimana bagian-bagian akan dipasang menurut pasangannya masing-masing sehingga menjadi alat yang siap digunakan.



Gambar 2. Proses perakitan alat



Gambar 3. Produk alat pembuat pellet karbon aktif

##### 4.2. Sepsifikasi Alat Pembuat Pellet Karbon Aktif

Tabel 1. Spesifikasi alat pembuat pellet karbon aktif

Tipe/Merk	Produk Alat Pembuat Pellet Karbon Aktif
Dimensi	16,4 cm x 11,4 cm x 46,3 cm
Kapasitas	10 gram (tergantung cetakan)
Ukuran cetakan (tabung)	20 mm x 30 mm
Jenis cetakan	Besi Aluminium
Berat	8,7 kg
Penggerak	Hydraulic Jack
Daya	2 ton
Jenis Plat	Base Plate
Tebal Plat	70 mm
Jenis rangka	Besi Galvanis

##### 4.3. Pengujian

Tabel 2. Tabel hasil pengujian pada alat.

No.	Hasil setelah pengepressan	Gambar hasil pengepressan
1	Pengujian I : Tekanan : 20 Psi Tinggi awal : 30 mm Tinggi Akhir : 13 mm Diameter : 20 mm	
2	Pengujian II : Tekanan : 23 Psi Tinggi awal : 30 mm Tinggi Akhir : 10 mm Diameter : 20 mm	
3	Pengujian III : Tekanan : 25 Psi Tinggi awal : 30 mm Tinggi Akhir : 9 mm Diameter : 20 mm	
4	Pengujian IV : Tekanan : 27,2 Psi Tinggi awal : 30 mm Tinggi Akhir : 7,6 mm Diameter : 20 mm	

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan pada bubuk karbon aktif yang dikarbonisasi sampai dengan suhu 700oC diperoleh beberapa data ukuran pellet dengan tekanan yang berbeda-beda. Besar-kecilnya pellet ditentukan dari tekanan yang diberikan.

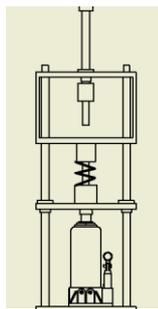
**Tabel 3.** Defleksi pegas tanpa pellet

No.	P (Psi)	P (N/cm <sup>2</sup> )	L <sub>0</sub> (cm)	L <sub>t</sub> (cm)	Defleksi (cm)
1	18,4	12,67	10,5	7,8	2,7
2	19,6	13,50	10,5	7,5	3,0
3	20	13,78	10,5	7,4	3,1
4	21,8	15,02	10,5	7,1	3,4

**Tabel 4.** Defleksi pegas dengan pellet

No.	P (Psi)	P (N/cm <sup>2</sup> )	L <sub>0</sub> (cm)	L <sub>t</sub> (cm)	Defleksi (cm)
1	20	13,78	10,5	7,8	2,7
2	23	15,85	10,5	7,5	3,0
3	25	17,23	10,5	7,4	3,1
4	27,2	18,74	10,5	7,1	3,4

Tabel 3 dan Tabel 4 menunjukkan hasil defleksi pegas tanpa pellet dicetakan dan defleksi pegas dengan pellet dengan cara mendapatkan tekanan P dari hidrolik yang bekerja. Dari hasil ini, tekanan yang diberikan terhadap defleksi pegas yang memiliki pellet akan diselisih dengan tekanan yang diberikan terhadap pegas tanpa pellet untuk menentukan nilai gaya yang didistribusikan hidrolik terhadap pellet

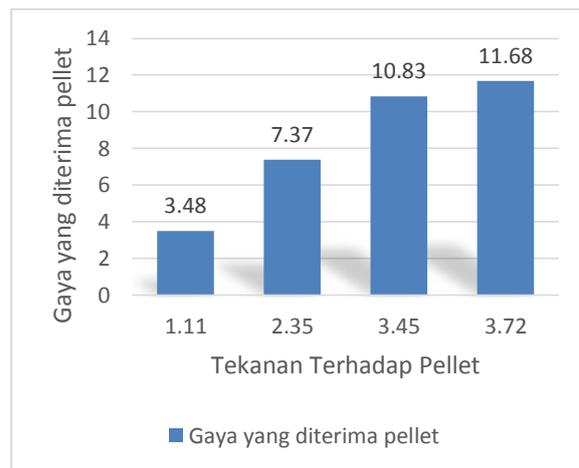


**Gambar 4.** Free Body Diagram

Tabel 5 menunjukkan hasil dari perhitungan tekanan terhadap pellet yang diberikan dalam satuan Psi yang diambil dari indikator pressure gauge yang telah dipasang setelah itu dikonversi menjadi N/cm<sup>2</sup> dan Gaya terhadap pellet.

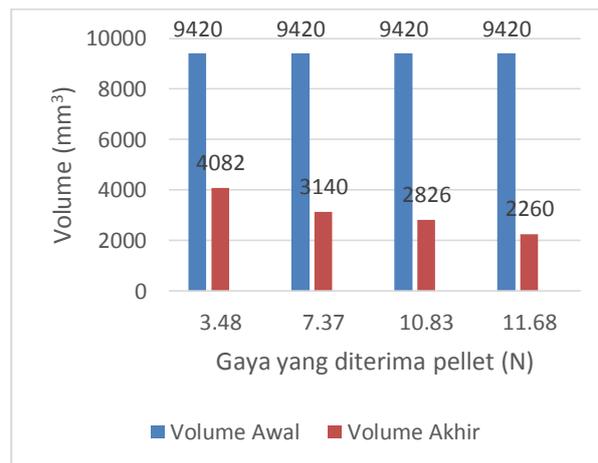
**Tabel 5.** Data hasil pengujian

No.	Masa (gr)		Volume (mm <sup>3</sup> )		Pengurangan Volume (mm <sup>3</sup> )	Tekanan terhadap Pellet (N/cm <sup>2</sup> )	Gaya yang diterima Pellet (N)
	M <sub>0</sub>	M <sub>1</sub>	V <sub>0</sub>	V <sub>1</sub>		P <sub>p</sub>	F <sub>p</sub>
1	10	9,97	9.420	4.082	5.338	1,11	3,48
2	10	9,97	9.420	3.140	6.280	2,35	7,37
3	10	9,96	9.420	2.826	6.594	3,45	10,83
4	10	9,94	9.420	2.386,40	7.159,2	3,72	11,68



**Gambar 5.** Hasil Data Gaya pada Pellet

Gambar menjelaskan bahwa gaya yang diterima pellet dari hidrolik yang didistribusikan melalui pegas dan penampang cetakan. Dari data menunjukkan semakin besar tekanan yang diterima pellet semakin besar juga gaya yang diterima pellet.



**Gambar 6.** Hasil Data Pengurangan Volume

Dari gambar 6 menunjukkan hasil data perubahan volume karbon aktif dimana volume karbon aktif makin kecil jika mendapat tekanan yang makin besar dari dongrak hidrolika.

## 5. Kesimpulan

Hasil perancangan dengan penggunaan software AutoDesk Inventor 2017 ialah alat dengan dimensi 16,4 cm x 11,4 cm x 46,3 cm dan dimensi cetakan adalah 20 mm x30 mm. Dongkrak hidrolik yang digunakan dilengkapi dengan pressure gauge sehingga bisa mengetahui berapa tekanan yang diberikan.

Tekanan yang diperlukan agar pellet tidak pecah dan bisa terbentuk dengan kokoh adalah 20 Psi hingga 27,2 Psi.

## Daftar Pustaka

- [1] Group, T. F., 2010, *World Activated Carbon*, Order A Journal On The Theory Of Ordered Sets And Its Applications.
- [2] Wibowo, S., Laia, D. P. ., Khotib, M., & Pari, G., 2017, *Karakterisasi Karbon Pelet Campuran Rumput Gajah (Pennisetum Purpureum Scumach) Dan Tempurung Nyamplung (Calophyllum Inophyllum Linn.)*, Jurnal Penelitian Hasil Hutan. <https://doi.org/10.20886/jphh.2017.35.1.73-82>
- [3] Saputra, Hendi, Achmad Syarief, Yassyir Maulana, 2014, *Analisis Pengaruh Media Pendingin Terhadap Kekuatan Tarik Baja ST37 Pasca Pengelasan Menggunakan Las Listrik*, Jurnal Ilmia Teknik Mesin Unlam Vol. 03 No. 2, pp. 91-98.
- [4] Dharma, U. S., & Yuono, L. D., 2017, *Analisa Pengepresan Dengan Sistem Hidrolik Pada Alat Pembuat Paving Block Untuk Perkerasan Lahan Parkir. Turbo*, Jurnal Program Studi Teknik Mesin, Vol.5 No.1.



**Paul Henry Grahito Roma Andilolo Lobing** menempuh dan menyelesaikan studi S-1 di Universitas Udayana dengan Program Studi Teknik Mesin, Tahun 2021 selama 8 semester.

Topik-topik dalam penelitian yang diminati dan disukai ialah bidang rekayasa manufaktur, aerodinamika dan perpindahan panas.

# Studi Eksperimental Laju Perpindahan Panas Pada Aktivasi Karbon Bambu Betung Dengan Temperatur Aktivasi 600° C

Juan Axel Maruli Sembiring, Hendra Wijaksana, I Gede Teddy Prananda Surya  
*Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali*

## Abstrak

Pesatnya pertumbuhan penduduk hampir di seluruh negara menyebabkan meningkatnya jumlah permintaan akan sistem pendingin udara untuk mendapatkan tingkat kenyamanan yang tinggi. Penggunaan sistem pendingin udara berbasis kompresor atau biasa dikenal dengan AC memerlukan jumlah energi listrik yang besar dan dapat menyebabkan pemanasan global. Oleh sebab itu dibutuhkan sistem pendingin alternatif, salah satunya adalah sistem direct evaporative cooling. Dalam sistem ini efek pendinginan dihasilkan dari proses penguapan yang terjadi pada material pad yang dibasahi oleh fluida air. Sistem pendingin evaporative menggunakan material pad pada pengaplikasiannya. Penelitian ini ditujukan untuk mencari pengaruh variasi temperatur karbonisasi terhadap karakteristik laju perpindahan panas pada arang aktif bambu betung yang temperatur karbonisasinya di variasikan 400°C (AKBB 400), 500°C (AKBB 500), 600°C (AKBB 600), 700°C (AKBB 700), dan 800°C (AKBB 800). Penelitian ini meliputi beberapa pengujian seperti uji SEM dan uji sudut kontak. Hasil akhir dari penelitian ini menunjukkan bahwa specimen AKBB 500 memiliki potensi yang besar untuk dijadikan material pad pada system direct evaporative cooling. Dengan karakteristik laju perpindahan panas tertinggi  $3,06 \times 10^{-4}$  watt.

*Kata kunci: Direct Evaporative Cooling, bambu betung, karbonisasi, Aktivasi, porositas, permeabilitas, laju perpindahan massa fluida dan perpindahan panas*

## Abstract

The rapid population growth in almost all countries causes an increasing number of requests for air conditioning systems to get a high level of comfort. The use of a compressor-based air conditioning system or commonly known as AC requires a large amount of electrical energy and can cause global warming. Therefore, an alternative cooling system is needed, one of which is a direct evaporative cooling system. In this system the cooling effect results from the evaporation process that occurs in the pad material that is wetted by water fluid. The evaporative cooling system uses pad material in its application. This study was aimed at finding the effect of variations in carbonization temperature on the characteristics of the heat transfer rate in activated charcoal of bamboo betung whose carbonization temperatures were varied at 400°C (AKBB 400), 500°C (AKBB 500), 600°C (AKBB 600), 700°C (AKBB 700) and 800°C (AKBB 800). This research includes several tests such as SEM test and contact angle test. The final result of this study shows that the AKBB 500 specimen has great potential to be used as a pad material in a direct evaporative cooling system. With the characteristics of the highest heat transfer rate of  $3.06 \times 10^{-4}$  watt.

*Keywords: Direct Evaporative Cooling, betung bamboo, carbonized, activated, porosity, permeability, fluid mass transfer rate and Heat transfer rate.*

## 1. Pendahuluan

Pertumbuhan penduduk yang pesat di seluruh negara menyebabkan meningkatnya permintaan akan pendingin udara berbasis kompresor (AC). Hal ini juga menyebabkan permintaan akan energi listrik yang cukup tinggi. Sistem pendingin berbasis kompresor ini membutuhkan energi listrik yang cukup tinggi,  $\pm 60\%$  energi listrik di gedung-gedung besar diperuntukkan untuk pengoperasian system AC dan juga system memberikan lingkungan dampak yang tidak baik. Dalam mengantisipasi penggunaan pendingin udara berbasis kompresor, maka diperlukan system pendingin yang ramah lingkungan dan hemat energi yaitu *evaporative air cooler*. Sistem pendingin ini menggunakan *material pad* untuk menurunkan suhu udara, *material pad* yang digunakan dalam system ini harus berpori (*porous pad material*), memiliki daya serap dan daya tampung air yang tinggi, dalam penelitian ini *material pad* yang akan diteliti adalah karbon aktif

bambu betung. Maka dilakukan pengujian laju perpindahan panas pada material pad system direct evaporative cooling untuk menentukan material pad yang memiliki daya serap panas tertinggi.

Dalam hal ini permasalahan yang akan dikaji, yaitu bagaimana laju perpindahan panas pada aktivasi karbon bambu betung dengan temperatur aktivasi 600°C

Adapun batasan masalah dari penelitian ini agar memperoleh hasil yang maksimal dan terarah antara lain:

1. Material yang digunakan adalah bambu betung lokal bali
2. Temperatur aktivasi ditetapkan 600°C (tanpa holding time)
3. Proses karbonisasi dilakukan pada temperatur lingkungan (outdoor)
4. Pengujian yang dilakukan hanya meliputi proses karbonisasi, pengujian uji SEM, pengujian sudut kontak.

## 2. Dasar Teori

### 2.1. Pembuatan Karbon Aktif Bambu Betung

Pembuatan karbon aktif bambu betung memiliki beberapa tahap yaitu proses karbonisasi lalu setelah itu akan dilakukan proses aktivasi. Sebelum menjalani proses karbonisasi, spesimen akan didehidrasi guna menghilangkan air, spesimen akan dipanaskan di dalam oven dengan suhu 105°C. Proses karbonisasi adalah proses pirolisis material organik dengan kondisi inert atmosphere (bebas oksigen) untuk mendapatkan residu solid dimana memiliki kandungan elemen 8 karbon yang tinggi. Sedangkan proses aktivasi dilakukan dengan harapan dapat mengembangkan dan memperbesar volume dari pori yang telah terbentuk ketika proses karbonisasi

### 2.2. Laju Perpindahan Panas

Energi panas ditransfer dari udara ke air melalui permukaan material pad. Udara akan kehilangan energi panas udara diakibatkan adanya tranfer energi panas udara ke air dan energi panas udara untuk proses penguapan air dalam material pad yang diberikan persamaan: (R.Ramkumar, A. Ragupathy, 2015) [1]

$$Q_t = Q_a + Q_w \quad (1)$$

Jika perpindahan panas udara total dapat dianggap sama dengan laju aliran kalor maksimum yang terdapat pada material pad berdasarkan prinsip kerja sumbu kapiler pipa kalor, maka dapat dituiskan persamaan

$$Q = \dot{m} \times L \quad (2)$$

$\dot{m}$  : laju perpindahan massa fluida (kg/s)

$L$  : kalor latent penguapan (kJ/kg)

### 2.3. Laju Perpindahan Massa Fluida

Laju alir massa maksimum dipengaruhi oleh jari-jari efektif pori ( $r_{eff}$ ), tegangan permukaan sumbu kapiler ( $\sigma$ ), viskositas fluida kerja pipa kalor ( $\mu$ ) dan permeabilitas sumbu kapiler ( $K$ ), sehingga laju alir massa maksimum dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\dot{m} = \frac{\rho_1 \cdot K \cdot A_w}{\mu \cdot l_{eff}} \left\{ \frac{2\sigma}{r_{eff}} \cos\theta - \rho_1 \cdot g \cdot l_{eff} \cdot \sin\theta \right\} \quad (3)$$

## 2.4 Kinerja Kapiler Material Pad

### 2.4.1. Permeabilitas

Permeabilitas mencerminkan efektivitas interaksi antara cairan dan porous material, dan bukan merupakan properti dari cairan ataupun porous material (Berti et.al.,2011) [2]. Besarnya permeabilitas yang terjadi pada porous material dapat ditentukan dengan menggunakan rumus berikut :

$$K = \frac{dp^2 \cdot \delta^3}{122 (1-\delta)^2} \quad (4)$$

### 2.4.2. Sudut Kontak

Sudut kontak merupakan sudut yang terbentuk antara permukaan datar material berpori dengan droplet cairan (air) yang diteteskan. Semakin kecil sudut kontak yang terbentuk antara

material dengan fluida, maka kemampuan basah (wettability) material akan semakin besar sehingga kapilaritas material juga akan semakin besar

## 3. Metode Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Reaktor Pyrolisis sebagai tempat terjadinya proses karbonisasi dan aktivasi
2. Oven untuk menghilangkan kadar air spesimen
3. Pisau untuk memotong spesimen
4. Nitrogen sebagai gas untuk menghilangkan oksigen pada saat karbonisasi
5. *ImageJ* berfungsi sebagai aplikasi untuk menganalisa setelah dilakukan uji SEM
6. *Syringe pump* untuk meneteskan droplet air saat pengujian sudut kontak
7. *Sample Holder* untuk menaruh spesimen yang dalam pengujian sudut kontak
8. *High Speed Video Camera* sebagai alat pengambil gambar saat uji sudut kontak.

Bahan yang digunakan yaitu bambu betung lokal bali yang berasal dari Baturiti, Tabanan, Bali.

### 3.1 Proses Karbonisasi dan Aktivasi

Dalam penelitian ini akan dilakukan proses karbonisasi terlebih dahulu ke masing-masing variasi spesimen. Adapun variasi temperatur karbonisasi yang telah ditetapkan yaitu suhu 400°C, 500°C, 600°C, 700°C, dan 800°C. Tahapan proses karbonisasi yang akan dilakukan pada bambu betung untuk spesimen dengan variasi temperatur 400°C meliputi:

1. Sampel bambu yang telah dipotong dengan ukuran panjang 2,5cm, lebar 1,7cm dan tinggi 3,1cm dimasukkan kedalam cawan keramik lalu ditutup. Spesimen uji dimasukkan ke dalam reaktor pyrolisis untuk proses karbonisasi.
2. Reaktor karbonisasi dialiri nitrogen dengan laju aliran 1 liter/menit selama 12 detik untuk mendapatkan kondisi bebas oksigen (*inert atmosphere*), kemudian temperatur reaktor ditingkatkan dengan laju pemanasan 500°C/jam dan diatur hingga mencapai 400°C.
3. Spesimen didinginkan di dalam reaktor selama 12 jam dan akan menghasilkan arang bambu betung yang telah melalui proses karbonisasi dan diberi label Karbonisasi Bambu Betung 400 (KBB400).

Selanjutnya Proses karbonisasi dilakukan kepada spesimen lain dengan pengulangan langkah 1, 2 dan 3 dengan variasi temperatur 500°C, 600°C, 700°C, dan 800°C dan akan menghasilkan spesimen KBB500, KBB600, KBB700 dan KBB800.

1. Masing-masing spesimen KBB400, KBB500, KBB600, KBB700, dan KBB800 dimasukkan kedalam reaktor.
2. Reaktor dialiri nitrogen dengan laju aliran 1 Liter/menit selama 12 detik dan diatur hingga

mencapai temperatur 600°C dengan laju pemanasan 500°C/jam.

3. Ketika suhu sudah mencapai temperatur 600°C, reaktor dimatikan dan didinginkan selama 12 jam sebelum spesimen dikeluarkan dan akan menghasilkan spesimen AKBB 400, AKBB500, AKBB600, AKBB700 dan AKBB800.

### 3.2 Pengujian SEM

Pengujian SEM (Scanning Electron Microscope) dilakukan untuk mendapatkan nilai struktur pori spesimen yang akan diuji yaitu jari-jari pori, distribusi pori, volume pori, dan lain-lain. Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu 1 unit alat Scanning Elctron Microscope FEI Inspect-550 dan aplikasi Image-J untuk menganalisis hasil uji SEM. Adapun tahapan yang dilakukan pada pengujian SEM yaitu :

1. Memotong spesimen arang aktif AKBB400, AKBB500, AKBB600, AKBB700, dan AKBB800 masing-masing dengan ukuran 2 mm x 2 mm. 2.Meletakkan potongan masing-masing spesimen kedalam alat uji SEM.
3. Melakukan pengujian dengan mengambil gambar dikomputer.
4. Memproses gambar dengan aplikasi Image J untuk mendapatkan data karakteristik struktur pori dari spesimen yang di uji.

### 3.3. Pengujian Sudut Kontak

Pengujian sudut kontak bertujuan untuk mendapatkan nilai sudut kontak spesimen. Adapun tahap pengujian sudut kontak yang dilakukan pada penelitian ini yaitu:

1. Mempersiapkan spesimen AKBB400, AKBB500, AKBB600, AKBB700, dan AKBB800.
2. Meletakkan salah satu spesimen pada sample holder.
3. Meneteskan droplet air pada spesimen di bagian pori-pori spesimen yang rata dan ambil video tetesan dengan menggunakan kamera hispeed dandi set dengan resolusi 90 fps.
4. Pindahkan video ke computer dan convert video menjadi foto dengan aplikasi freestudio.
5. Pilih 1 frame yang sudah ditetapkan untuk dianalisis sudut kontaknya dengan menggunakan aplikasiimageJ.
6. Ulangi Langkah 1-5 dengan menggunakan spesimen lainnya

### 3.4. Pengujian Kapilaritas

Pengujian kapilaritas bertujuan untuk mencari nilai tegangan permukaan dan berat spesimen setelah mengalami penyerapan. Adapun tahapan pengujian kapilaritas yang akan dilakukan yaitu:

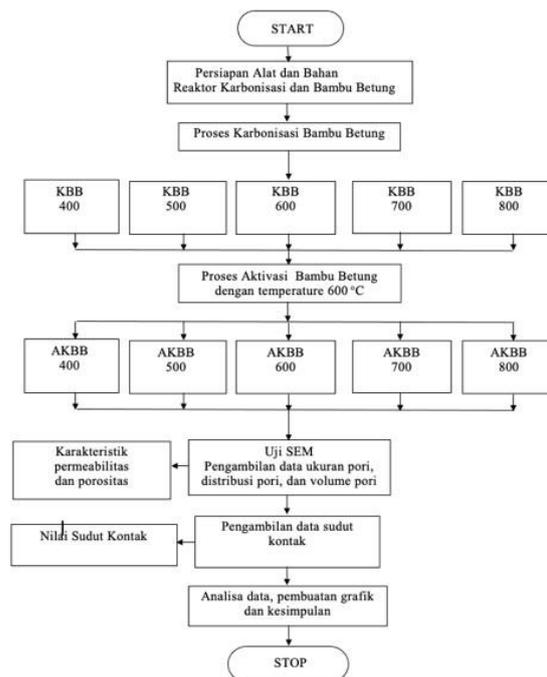
1. Siapkan salah satu spesimen AKBB400, AKBB500, AKBB600, AKBB700, dan AKBB800. Timbang untuk mendapat nilai

massa spesimen sebelum menyerap air.

2. Lakukan pengujian dengan menempelkan tisu dipermukaan atas salah satu spesimen yang akan diuji.
3. Mengisi gelas beker dengan air dan letakkan diatas timbangan.
4. Memegang spesimen dengan posisi bagian bawah spesimen menempel dengan permukaan air di gelas beker.
5. Bersamaan dengan langkahno. 4 hidupkan stopwatch.
6. Ketika seluruh bagian tisu sudah basah, matikan stopwatch dan angkat spesimen dari gelas beker dan timbang massa spesimen setelah penyerapan.
7. Catat data ketinggian air (tinggi spesimen), waktu penyerapan, dan perubahan massa air dari sebelum terjadi penyerapan dan sesudah proses penyerapan sebagai data kapilaritas karbon aktif dan teganganpermukaan.
8. Ulangi langkah 1-7 dengan menggunakan spesimenlainnya.

### 3.5 Diagram Alir Penelitian

Berikut adalah diagram alir pebelitian yang telah dilakukan.



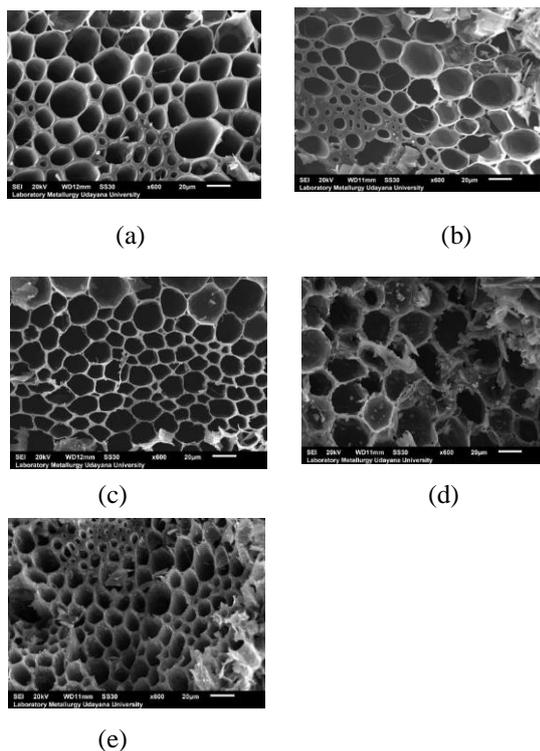
Gambar 1. Diagram alir penelitian

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1. Karakteristik Struktur Pori

Dapat dilihat pada gambar 2 menunjukkan struktur pori pada spesimen AKBB400, AKBB500, AKBB600, AKBB700 dan AKBB800. Berdasarkan gambar tersebut, hasil gambar di analisa dengan aplikasi *ImageJ* untuk setiap spesimen dengan pembesaran 600x agar memudahkan analisa. Hasil dari analisa *ImageJ* yaitu total, fraksi dan distribusi

pori.



**Gambar 2. Struktur Mikro Spesimen (a) AKBB400, (b) AKBB500, (c) AKBB600, (d) AKBB700, dan (e) AKBB800.**

Berikut data yang ditampilkan Pada Tabel 1 berdasarkan hasil analisis uji SEM yang diolah dengan aplikasi Image J dan sudah di proses dengan Microsoft Excel. Dari Microsoft Excel akan didapat data distribusi pori pada permukaan spesimen yang diuji SEM. Dari data distribusi pori tersebut akan di dapatkan nilai jari-jari pori sebagai berikut pada Tabel 1.

**Tabel 1. Hasil Pengolahan Data Struktur Pori**

Nama	Jari-Jari Pori
AKBB400	3.03
AKBB500	3.17
AKBB600	2.58
AKBB700	2.91
AKBB800	1.91

#### 4.3. Karakteristik Pori

Porositas adalah perbandingan antara volume pori yang terbentuk pada material dan volume total material tersebut. Pada penelitian ini, perhitungan nilai porositas dilakukan dengan mengukur massa awal spesimen saat dalam keadaan kering dan massa akhir spesimen saat jenuh dengan air. Pengurangan antara keduanya adalah volume air yang terserap atau volume rongga yang ada pada arang. Dimana volume pori diketahui dari hasil perkalian volume air yang terserap dengan volume spesifik air saat jenuh.

Diketahui volume spesifik air saat jenuh adalah  $1,003 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$ .

Besarnya porositas untuk material karbon aktif bambu betung dapat ditentukan dengan perhitungan sebagai berikut:

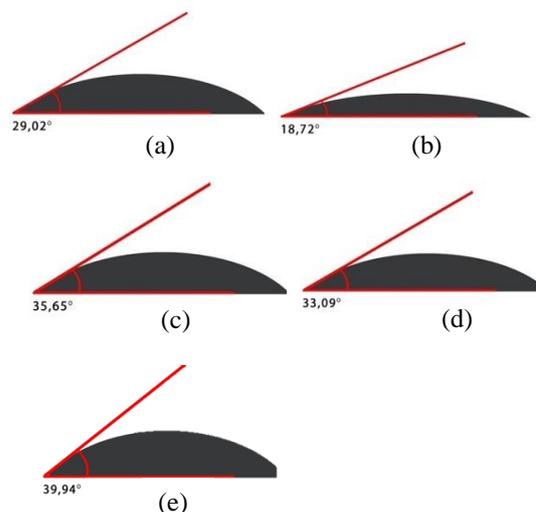
$$\begin{aligned} \text{Porositas (AKBB 400)} &= \frac{2.433,1777(\text{mm}^3)}{13.787(\text{mm}^3)} \times 100\% \\ &= 17,64835\% \end{aligned}$$

**Tabel 2. Hasil Pengolahan Data Porositas**

Nama Spesimen	Volume Pori (mm <sup>3</sup> )	Volume Material (mm <sup>3</sup> )	Porositas (%)
AKBB400	2.433,1777	13.787	17,64835
AKBB500	3.364,4632	15.597	21,57122
AKBB600	3.479,7079	14.26	24,40188
AKBB700	3.248,3158	13.431	24,18521
AKBB800	3.1957586	14.479	22,07168

Tabel 2 menunjukkan hasil pengolahan data porositas, berdasarkan tabel tersebut spesimen AKBB 600 memiliki nilai porositas tertinggi yaitu 24,40% sedangkan spesimen AKBB400 memiliki hasil terendah yaitu 17,64%. Nilai ini disebabkan karena nilai porositas sangat dipengaruhi oleh volume total material dan volume pori.

#### 4.3 Sudut Kontak



**Gambar 3. Nilai sudut kontak pada spesimen (a) AKBB 400, (b) AKBB 500, (c) AKBB 600, (d) AKBB 700, dan (e) AKBB 800.**

Gambar 3 menunjukkan nilai sudut kontak dari setiap spesimen. Berdasarkan gambar, spesimen AKBB 800 memiliki nilai sudut kontak terbesar yaitu  $39,94^\circ$  sedangkan spesimen AKBB500 memiliki nilai sudut kontak terkecil yaitu  $18,72^\circ$ . Hal ini disebabkan karena semakin besar nilai jari-jari pori maka nilai sudut kontak akan semakin kecil. Berdasarkan pengujian sudut kontak pada specimen diatas, dapat dilihat nilai sudut kontak untuk masing-

masing material tersebut seperti pada tabel 3. Dengan membagi jari-jari pori dengan cosinus sudut kontak akan menghasilkan jari-jari pori efektif.

**Tabel 3. Data sudut kontak dan jari pori efektif**

Nama spesimen	Sudut Kontak (°)	Jari-jari Pori Efektif (µm)
AKBB 400	29,06	3,48
AKBB 500	18,73	3,35
AKBB 600	35,65	3,17
AKBB 700	33,09	3,47
AKBB 800	39,94	2,49

#### 4.4. Permeabilitas

Nilai permeabilitas spesimen karbon aktif bambu betung dipengaruhi nilai diameter pori dan nilai porositas dari spesimen itu sendiri. Spesimen yang memiliki nilai porositas dan diameter pori yang besar akan menghasilkan nilai permeabilitas yang besar pula. Besarnya permeabilitas untuk material karbon aktif bambu betung dapat ditentukan dengan perhitungan sebagai berikut:

**Tabel 4. Nilai permeabilitas specimen arang aktif bamboo betung**

Spesimen	Faktor geometrik	Diameter pori (mm)	Porositas (%)	Permeabilitas (m <sup>2</sup> ) x 10 <sup>-15</sup>
AKBB 400	122	6.05	0.176	2.41
AKBB 500	122	6.34	0.216	5.41
AKBB 600	122	5.16	0.244	5.55
AKBB 700	122	5.82	0.242	6.85
AKBB 800	122	3.82	0.221	2.31

#### 4.5. Laju Aliran Massa

Terdapat beberapa pengujian dalam menentukan nilai laju aliran massa fluida pada spesimen arang aktif bambu betung yaitu pengujian sudut kontak, uji permeabilitas, uji *scanning electron microscope* (SEM) dan uji kapilaritas.

Berdasarkan Tabel 5 dapat dilihat nilai laju aliran massa tertinggi dimiliki oleh spesimen karbon aktif AKBB 500 yaitu 13.6 x 10<sup>-8</sup> kg/s sedangkan spesimen AKBB 400 memiliki nilai laju aliran massa terendah yaitu 4.90 x 10<sup>-8</sup> kg/s.

Nilai ini disebabkan oleh nilai porositas yang cukup tinggi dan ukuran pori yang cukup besar pada spesimen AKBB500 akan menghasilkan sudut kontak yang kecil dan permeabilitas yang cukup besar dibandingkan dengan spesimen lainnya. Dengan demikian, besarnya nilai laju aliran massa fluida yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh nilai permeabilitas dan sifat mampu basah material.

**Tabel 5. Hasil perhitungan laju aliran massa fluida**

Nama Spesimen	Permeabilitas (m <sup>2</sup> ) x 10 <sup>-15</sup>	Panjang efektif material (mm)	Luas penampang material (mm <sup>2</sup> )
AKBB 400	2.41	0.028	4.94
AKBB 500	5.41	0.032	4.88
AKBB 600	5.55	0.029	5.00
AKBB 700	6.85	0.033	4.60
AKBB 800	2.13	0.034	4.71

Jari-jari efektif pori (µm)	Sudut kontak (°)	ṁ (kg/s) x 10 <sup>-8</sup>
3.48	29.06	4.90
3.35	18.73	13.6
3.17	35.65	12.1
3.47	33.09	13.3
2.49	39.94	6.50

#### 4.6. Karakteristik Laju Perpindahan Panas

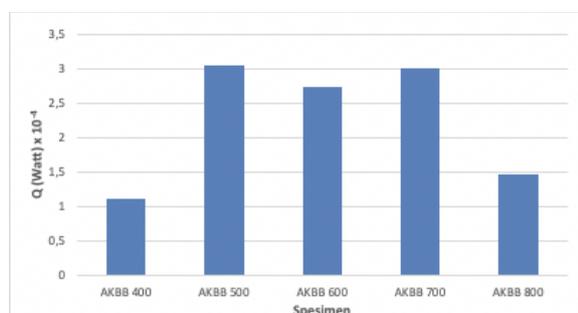
Pengujian karakteristik laju perpindahan panas karbon aktif bambu betung dimulai setelah nilai laju aliran massa fluida setiap spesimen didapat massa pada spesimen AKBB 400. Pada Tabel 6 dapat dilihat hasil perhitungan laju aliran massa material karbon aktif bambu betung. Berdasarkan Tabel 6 dapat dilihat bahwa material karbon aktif AKBB 500 memiliki laju aliran massa tertinggi.

**Tabel 6. Hasil perhitungan laju perpindahan panas**

Nama Spesimen	Permeabilitas (m <sup>2</sup> ) x 10 <sup>-15</sup>	Panjang efektif material (mm)	Luas penampang material (mm <sup>2</sup> )
AKBB 400	2.41	0.028	4.94
AKBB 500	5.41	0.032	4.88
AKBB 600	5.55	0.029	5.00
AKBB 700	6.85	0.033	4.60
AKBB 800	2.13	0.034	4.71

Jari-jari efektif pori ( $\mu\text{m}$ )	Sudut kontak ( $^\circ$ )	$\dot{m}$ (kg/s) $\times 10^{-8}$	Q (Watt) $10^{-4}$
3.48	29.06	4.90	1.10
3.35	18.73	13.6	3.06
3.17	35.65	12.1	2.73
3.47	33.09	13.3	3.0
2.49	39.94	6.50	1.46

\*Koefisien kalor laten ( $L$ ) = 2257



**Gambar 4. Grafik perbandingan nilai laju perpindahan panas dengan variasi temperatur karbon aktif**

Berdasarkan grafik tersebut, ditunjukkan bahwa spesimen AKBB 500 memiliki nilai laju perpindahan panas tertinggi yaitu  $3.06 \times 10^{-4}$  watt dan spesimen AKBB 400 memiliki nilai laju perpindahan panas terendah yaitu  $1.10 \times 10^{-4}$  watt. Hal ini disebabkan oleh ukuran pori yang cukup besar dan porositas yang cukup tinggi pada material AKBB 500 akan menghasilkan permeabilitas yang cukup besar dan dengan sudut kontak yang paling kecil material akan bersifat lebih hidrofilik (lebih mampu basah) dibandingkan dengan yang lainnya. Dengan demikian, semakin tinggi permeabilitas dan sifat mampu basah (wettability) material, maka semakin besar laju aliran massa fluida yang dihasilkan dan dengan nilai laju aliran massa fluida yang besar, akan menghasilkan nilai laju perpindahan panas yang besar pula.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai laju perpindahan panas pada pengaruh tahap aktivasi tanpa holding time dapat disimpulkan beberapa hal antara lain:

1. Material karbon aktif bambu betung yang telah di karbonisasi dengan temperatur  $500^\circ\text{C}$  dan di aktivasi dengan suhu  $600^\circ\text{C}$  memiliki karakteristik laju aliran panas tertinggi yakni sebesar  $3,06 \times 10^{-4}$  watt sedangkan laju aliran

massa fluida terkecil dihasilkan oleh material karbon aktif bambu betung yang telah di karbonisasi dengan temperatur  $400^\circ\text{C}$  dan di aktivasi dengan suhu  $600^\circ\text{C}$  yakni sebesar  $1,10 \times 10^{-4}$  watt.

2. Dengan karakteristik laju aliran panas fluida tertinggi yang dimiliki oleh material karbon aktif bambu betung yang telah di karbonisasi dengan temperatur  $500^\circ\text{C}$  dan di aktivasi dengan suhu  $600^\circ\text{C}$ , maka material ini sangat berpotensi digunakan sebagai material pad sistem direct evaporative cooling, karena akan mampu menyerap panas udara lebih banyak, sehingga proses evaporasi pada material pad menjadi semakin besar dan menghasilkan efek pendinginan yang lebih besar pula.
3. Semakin tinggi permeabilitas dan sifat mampu basah (wettability) material, maka semakin besar laju aliran massa fluida dan juga laju aliran panas fluida yang dihasilkan.

## Daftar Pustaka

- [1] Ramkumar, Ramakrishnan, 2017, *Experimental Investigation Of Indirect Evaporative Cooler Using Clay Pipe*. *Journal of Thermal Engineering*, Vol. 3, No. 2, pp. 1163-1180.
- [2] Berti, L. F., Bazzo, E., Santos, P.H.D., Janssen, R., 2011, *Evaluation of permeability of ceramic wick structures for two phase heat transfer devices*.
- [3] Lago, M. & Araujo, M., 2001, *Capillary Rise In Porous Media*. *Physica A: Statistical Mechanics And Its Applications*, 289, 1-17.
- [4] Lempang, M., 2014, *Pembuatan Dan Kegunaan Arang Aktif*, Info Teknis EBONI 2 (11):65-80. Makassar: Balai Penelitian Kehutanan Makassar.
- [5] Solomon, A. B., Mahto, A. K., Joy, R. C., Rajan, A. A., Jayprakash, D. A., Dixit, A., Sahay, A., 2020, *Application of bio-wick in compact loop heat pipe*, *Applied Thermal Engineering*, 169, 114927.
- [6] Xu, B., Liu, D., Xu, G., Zhang, X. & Bi, L. 2013. *A Measurement Method For Contact Angle Based On Hough Transformation*. *Measurement*, 46, 1109-1114.
- [7] Isa, S.S.M., Ramli, M.M., Hambali, N.A.M.A., Kasjoo, S.R., Isa, M.M., Nor, N.I.M., Ahmad, N., 2016, *Adsorption Properties and Potential Applications of Bamboo Charcoal*, A Review, *MATEC Web of Conferences*, 78, 01097.

- [8] Shirazy, M. R., Blais, S. & Fréchet, L. G. 201, *Mechanism Of Wettability Transition In Copper Metal Foams: From Superhydrophilic To Hydrophobic.*, Applied Surface Science, 258, 6416-6424..
- [9] Rizky Pratama Rachman, Bambang Yunianto., 2014, *Pengaruh Jenis Sprayer Terhadap Efektivitas Direct Evaporative Cooling Dengan Cooling Pad Serabut Kelapa.* Jurnal Teknik Mesin Universitas Diponegoro. Vol. 2, No. 2. 78-82.
- [10] Midiani, L.P., Suprpta, I.N.S., Septiadi, W.N., Sucipta, M., 2019, *Characterization of capillary pumping amount in novel sintered zeolites and hybrid zeolite-Cu for heat pipe applications*, International Journal of Heat and Mass Transfer, Volume 145



**Juan Axel Maruli Sembiring** menyelesaikan studi S1 program sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana pada tahun 2017 dan menyelesaikannya pada tahun 2021.

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

# Tingkat Keausan *Cylinder Liner* Akibat Beban Gesek Pada Variasi Suhu Permukaan Basah 30° C - 250° C

Eko Febriyanto Baryudha, I Made Widiyarta dan I Made Parwata  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

*Cylinder liner/boring* adalah komponen yang terletak dalam block silinder mesin pembakaran dalam. Selama proses pembakaran, *cylinder liner* menerima tekanan dan panas cukup tinggi serta gesekan dari ring piston. Kondisi ini dapat mengakibatkan keausan pada permukaan *cylinder liner*. Adanya pelumasan yang diberikan pada permukaan kontak antara *cylinder liner* dan ring piston dapat menghambat terjadinya peningkatan aus pada *cylinder liner*. Pada penelitian ini, uji aus pada *cylinder liner* akibat gesekan ring piston dilakukan dengan memvariasikan suhu permukaan *cylinder liner* dari 30°C sampai dengan 250°C. Hasil uji menunjukkan keausan mengalami penurunan meskipun suhu permukaan meningkat dari 30°C sampai dengan 250°C. Tingkat keausan yang terjadi turun dari 0.000006 gr/siklus menjadi 0,000003 gr/siklus dengan naiknya suhu permukaan dari 30°C ke 100C dan selanjutnya tidak mengalami perubahan tingkat keausan dengan naiknya suhu permukaan sampai 250°C

Kata kunci: *Cylinder liner*, Beban Gesek, Keausan

## Abstract

The *cylinder liner* is a component located in the cylinder block of an internal combustion engine. During the combustion process, the *cylinder liner* receives high pressure and heat and friction from the piston rings. This condition can cause wear on the *cylinder liner* surface. The presence of lubrication provided on the contact surface between the *cylinder liner* and the piston ring can prevent increased wear of the *cylinder liner*. In this study, the wear test on the *cylinder liner* due to piston ring friction was carried out by varying the surface temperature of the *cylinder liner* from 30°C to 250°C. The test results show a decrease in wear even though the surface temperature increases from 30°C to 250°C. The level of wear that occurs decreases from 0.000006 gr/cycle to 0.000003 gr/cycle with an increase in surface temperature from 30°C to 100°C and then there is no change in the level of wear with an increase in surface temperature to 250°C.

Keyword : *Cylinder liner*, Friction Load, Wear

## 1. Pendahuluan

*Cylinder liner* adalah komponen mesin yang yang berada di blok silinder yang berfungsi untuk ruang bakar dan tempat piston [1]. Pembakaran yang dihasilkan ruang bakar ditransmisikan ke piston, connecting road dan crankshaft. Piston menerima tekanan pembakaran dan selanjutnya diteruskan melalui connecting road menuju *crankshaft* dan *crankshaft* selanjutnya menghasilkan gerak putaran [2]. Gerakan translasi bolak-balik lama kelamaan pada dinding silinder pada motor akan menjadi lebih longgar karena kegagalan pada permukaan dinding *cylinder liner* dan ring piston akibat gesekan, yang umum disebut kegagalan aus. Keausan dinding silinder umumnya terjadi di posisi titik mati atas silinder (*top-dead-center point*) akibat seringnya terjadi kegagalan proses pelumasan [5]. Daerah yang kurang terkena pelumasan biasanya mudah mengalami keausan, pada areal ini ditemukan goresan - goresan cukup dalam sepanjang gerak piston.

Pada penelitian ini, uji aus pada silinder liner akibat gesekan oleh ring piston dilakukan dengan menambahkan pelumasan pada permukaan silinder liner dan memvariasikan suhu permukaan dari 30°C sampai dengan 250°C.

Korespondensi: Tel./Fax.: ..... / -  
E-mail: .....

## 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1 Mekanika Kontak

Ilmu mekanika kontak adalah ilmu yang mempelajari ilmu friction yang membahas mengenai deformasi dan tegangan dua benda yang bersinggungan satu sama yang lainnya [3]. Kontak yang terjadi antara dua benda dapat berupa area permukaan (*surface*) garis (*line*) titik (*point*) jika diteruskan maka kontak yang terjadi atau diberikan suatu gaya dan beban kontak, maka yang awalnya kontak berupa titik, maupun permukaan dapat berubah bentuk dan yang lain tergantung pada besaran tegangan pada permukaan yang terjadi kontak.

### 2.2 Friction

Friction adalah resistensi terhadap gerakan dari dua buah benda yang saling bergesekan [4]. *Friction* berasal dari kata *fricare* dalam bahasa latin yang berarti gosok/gesekan, tidak hanya mengubah besarnya gaya gesek yang terjadi di penekanan tetapi sangat berkaitan juga langsung dengan kualitas produk yang dihasilkan pada proses manufaktur.

#### a. Static Friction

*Static friction* merupakan friction yang untuk mempertahankan kedudukan dan dalam keadaan

stationary (static). *Friction* ini biasanya digunakan pada clutch dan ban kendaraan .

b. *Limiting Friction*

*Limiting friction* adalah apabila sebuah gaya bertambah secara bertahap ketika terjadi gesekan antara permukaan satu dengan lainnya yang saling bergesekan maka *friction* juga bertambah dan membatasi pergerakan, Dan Pada titik tertentu akan tercapai titik dimana *friction* tidak dapat lagi mempertahankan permukaan dari *sliding*. Biasanya *Friction* pada titik ini disebut sebagai *limiting friction*

c. *Sliding Friction*

*Sliding friction* adalah timbulnya tahanan pada pergerakan ketika dua permukaan meluncur satu sama lain. *Sliding friction* lebih kecil dari *limiting friction* dan hanya memerlukan force yang kecil untuk mencegah sliding daripada waktu pertama memulai menggerakkan atau mendorong sesuatu.

d. *Rolling Friction*

*Rolling friction* adalah dimana suatu permukaan dibatasi oleh roller atau ball dan tidak terjadi slide akan tetapi yang terjadi adalah saling bergerak. *Friction* yang terjadi antara ball dan permukaan disebut sebagai *rolling friction* dan ini lebih kecil dari *sliding friction*.

e. *Fluid Friction*

*Fluid friction* adalah apabila dua permukaan saling bersentuhan dan dibatasi dengan lapisan oli maka *friction* sangat berkurang meskipun masih tetap ada *friction* yang terjadi. Gaya gesek yang antara benda padat dan cair disebut sebagai gaya *Coriolis-Stokes* atau gaya viskos (*viscous force*).

### 2.3 Keausan

Kontak antara dua benda sambil bergerak maka akan timbul gesekan. Berbagai macam masalah yang ditimbulkan gesekan misalnya kenaikan suhu pada permukaan, aus permukaan atau bunyai mencicit. Adapun beberapa keausan yang terjadi yaitu:

a. *Adhesive Wear*

*Adhesive wear* adalah salah satu keausan yang dimana berpindahnya partikel pada suatu permukaan material yang lemah ke permukaan partikel yang keras.

b. *Abrasive Wear*

*Abrasive wear* keausan ini terjadi pada permukaan yang lunak bertemu dengan permukaan yang lebih keras dan meninggalkan goresan pada permukaan yang lebih lunak.

c. *Chemical wear*

Keausan kimiawi adalah gabungan dua proses yaitu proses secara termal dan proses secara mekanis yang terjadi pada suatu permukaan benda dan lingkungan sekitarnya sebagai jaringan terdistribusi secara acak dari ikatan kimia. gaya antar molekul (*intermolecular forces*).

d. *Surface fatigue wear*

Keausan lelah pada permukaan material, komponen yang digunakan pada tekanan tinggi

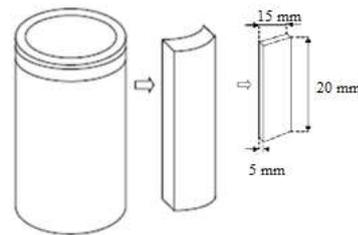
yang memicu pembentukan retakan komponen tersebut

### 2.4 Cylinder Liner

*Cylinder liner* adalah bagian di blok silinder dan berfungsi sebagai tempat dimana proses kerja engine berlangsung. *Cylinder liner* umumnya terbuat dari besi tuang kelabu. Besi tuang kelabu terbentuk antara paduan eutektik dari besi dan karbon. Memiliki temperatur cair yang tergolong rendah yaitu 1200°C.

## 3. Metode

### 3.1 Persiapan bahan uji



**Gambar 1. Pembentukan Spesimen Uji**

Benda uji merupakan *cylinder liner* kendaraan roda empat berbahan bakar disel dengan ukuran 20 x 15 mm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Sebelum dilakukan uji aus, permukaan benda uji aus diratakan dengan proses sebagai berikut:

- Permukaan dalam *cylinder liner* diratakan dengan gerinda duduk
- Permukaan yang sudah rata kemudian dihaluskan dengan kertas gosok ukuran 100 sampai dengan ukuran 1500.....
- Permukaan yang sudah halus kemudian dipoles dengan cara autosol untuk mendapatkan kehalusan yang mendekati sama untuk setiap spesimen.

#### a. Uji keausan

Uji keausan ini dilakukan dengan metode pengujian keausan *ball on flat* standar pengujian ini sudah sesuai dengan pengujian ASTM G133-05 (2010). Beberapa tahapan-tahapan pengujian adalah sebagai berikut:

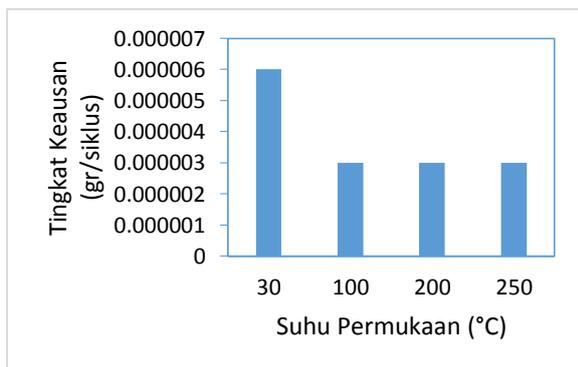
1. Menyiapkan dan memeriksa alat uji yang akan digunakan.
2. Menyiapkan spesimen uji.
3. Timbang spesimen uji sebelum proses pengujian keausan dilakukan.
4. Set kecepatan putar pada 300 rpm dan panjang langkah 10 mm.
5. Melakukan pemasangan spesimen pada landasan dan beban oleh ring piston diatur pada beban 1 kg
6. Atur suhu permukaan kontak hingga mencapai 30°C, 100°C, 200°C, dan 250°C dengan permukaan basah.
7. Setelah semua persiapan selesai, dilakukan pengujian keausan dengan waktu yang

diberikan selama 10- 15 menit Dan pengambilan data.

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. Pembahasan dan hasil

Di dapat dari hasil pengujian nilai rata-rata uji keausan yang terjadi pada *cylinder liner* dengan semakin tinggi suhu yang di berikan pada permukaan spesimen nilai keausan rata-rata tidak mengakibatkan kenaikan tingkat keausan material. Dari Gambar 2 dapat dilihat dengan naiknya suhu dari 30°C sampai dengan suhu 100°C, material mengalami penurunan tingkat keausan, selanjutnya setelah suhu dinaikkan melampaui suhu 100°C, tidak ada lagi penurunan maupun tingkat keausan material sampai dengan suhu 250°C. Tingkat keausan mengalami penurunan dengan naiknya suhu permukaan dari 30°C sampai 100°C, turunnya tingkat keausan ini mungkin diakibatkan oleh terbentuknya lapisan oksida pada permukaan pada suhu 100°C. Kombinasi lapisan oksida dan pelumas pada permukaan material mampu mengurangi dampak yang diakibatkan oleh gesekan ring piston. Kontak ring piston ke permukaan *cylinder liner* dibatasi oleh lapisan oksida dan pelumas, sehingga diperlukan waktu yang lebih lama untuk terjadinya kontak langsung material ring piston dengan material *cylinder liner*. Hal ini mungkin mengakibatkan tingkat keausan turun dan tidak mengalami perubahan tingkat keausan meskipun suhu permukaan dinaikkan sampai dengan 250°C.



Gambar 2. Grafik tingkat keausan permukaan basah dengan Suhu 30°C,100°C, 200°C, dan 250°C.

#### 5. Kesimpulan

Dari hasil analisa hasil dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa pelumasan yang diberikan pada permukaan kontak antara *cylinder liner* dan ring piston dapat menghambat terjadinya peningkatan aus pada *cylinder liner* meskipun suhu permukaan meningkat dari 30°C sampai dengan 250°C. Tingkat keausan turun dari 0,000006 gr/siklus menjadi 0,000003 gr/siklus dengan suhu permukaan naik dari

30°C ke 100C dan keausan tetap konstan dengan naiknya suhu permukaan sampai 250°C.

#### Daftar Pustaka

- [1] Prasetya, A. & Kismantoro, T. J. D. B., 2017, **Penyebab Pecahnya Cylinder liner Pada Generator Engine** Di Mt. Martha Option. 7, 1633-1641
- [2] Johnson, K. L. & Johnson, K. L., 1987, **Contact Mechanics**, Cambridge University Press.
- [3] Budinski, K. G., 2007, **Guide To Friction, Wear And Erosion Testing**, Astm International West Conshohocken, Usa.
- [4] Naibaho, R. J. J. I. S., 2020. **Karakterisasi Sifat Fisis Dan Kekerasan Piston Sepeda Motor Suzuki Dan Piston Sepeda Motor Denshin**. 4, 62-62.
- [5] Williams, J., 1994, **Engineering Tribology**, Oxford University Press.



**Eko Febriyanto Baryudha**  
menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana pada Program Studi Teknik Mesin, pada tahun 2021.

Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan ilmu tribology.

# Performansi Sistem Solid Dry Pad Dengan Media Pendingin 75% Massa Dry Ice

Dwi Wahyu Krisna Yoga, Hendra Wijaksana, Suarnadwipa  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

Air Conditioner merupakan instrumen yang sangat penting pada masa sekarang karena berfungsi untuk menyejukkan udara dalam sebuah ruangan, Indonesia yang beriklim tropis, dengan suhu rata-ratanya mencapai  $35^{\circ}\text{C}$  dimana suhu nyaman yang diperlukan adalah  $22^{\circ}\text{C}$ -  $26^{\circ}\text{C}$ . Penggunaan AC menimbulkan laju temperatur bumi meningkat, melihat permasalahan tersebut di butuhkan suatu mesin pendingin yang tidak boros energi dan tidak menimbulkan kerusakan lingkungan. Yaitu Dew Point Evaporative Cooling, sistem ini termasuk proses pendinginan dengan mengontakkan udara secara langsung pada pad yang dingin. Dalam penelitian yang dilaksanakan memakai pad staggered berjumlahkan 32 batang pipa yang berisikan 75% massa es kering, pengujian ini dilaksanakan untuk menguji performa Dew Point Evaporative Cooling. Dengan variabel penelitian adalah variasi kecepatan aliran udara dimana  $V1= 4,8$  m/s,  $V2= 9,5$  m/s,  $V3= 11,3$  m/s. Yang akan dilahkukan pengukuran yang meliputi dari aspek menurunnya suhu bola kering udara, kapasitas, efektifitas pendinginan, EER dan Pressure drop. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini yaitu penurunan suhu bola kering udara ( $\Delta\text{Tdb}$ ) cenderung lebih besar terjadi pada kecepatan aliran udara 4,8 m/s, di dapatkan selisih penurunan suhu udara Tin dan Tout sebanyak  $6,01^{\circ}\text{C}$ , dibandingkan terhadap kecepatan aliran udara 11,3 m/s timbul penurunan suhu udara Tin dan Tout sebesar  $3,46^{\circ}\text{C}$  seluruhnya mengalami proses pendinginan dan penurunan kandungan uap air pada udara.

Kata kunci: Evaporative Cooling, Dew Point, Dry Ice, SDP

## Abstract

Air Conditioner is a very important instrument in the present because it serves to cool the air in a room, Indonesia temperate tropis, with the average temperature reaches  $35^{\circ}\text{C}$  where a comfortable temperature required is  $22^{\circ}\text{C}$ -  $26^{\circ}\text{C}$ . The use of AC earth raises tempratur rate increases, see these problems in need of a cooling machine that is not wasteful of energy and does not damage the environment. Dew Point Evaporative Cooling Namely, this system including the cooling process by contacting the air directly to the cold pad. In a study conducted staggered pad wear berjumlahkan 32 lengths of pipe containing 75% by mass of dry ice, this test is performed to test the performance of Dew Point Evaporative Cooling. With the research variables are variations in air flow rate where  $V1= 4.8$  m/s,  $V2= 9.5$  m/s,  $V3= 11.3$  m/s. Which will dilahkukan measurements including aspects decreasing air dry bulb temperature, capacity, cooling effectiveness, EER and Pressure drop. Results obtained from this research that a decrease in air-dry bulb temperature ( $\Delta\text{Tdb}$ ) tends to occur at higher air flow velocity of 4.8 m/s, in getting air temperature difference reduction Tin and Tout as  $6,01^{\circ}\text{C}$ , compared to the air flow rate of 11.3 m/s arising drop in air temperature Tin and Tout of  $3,46^{\circ}\text{C}$  entirely cools and decrease the moisture content in the air.

Keywords: Evaporative Cooling, Dew Point, Dry Ice, SDP

## 1. Pendahuluan

Air Conditioner/ AC adalah komponen yang sangat umum digunakan pada masa sekarang ini, karena AC memberikan efek mendinginkan dan menyejukkan di dalam ruangan. Di Indonesia yang beriklim tropis dengan suhu rata-ratanya mencapai  $35^{\circ}\text{C}$  padahal suhu nyaman yang diperlukan antara  $22^{\circ}\text{C}$  -  $26^{\circ}\text{C}$ .

Efek negatif penggunaa AirkConditioner diakibatkan komponen utamanya sendiri yakni freon, dapatdmemberikangefek burukglterhadap penipisan lapisankgOzongjjdanklmeningkatnya laju tempratur bumi. Mesin pengkondisian udara merupakan mesin koversi energi,jjdimanajsejumlahjjenergijjdibutuhkan untuk menghasilkankeleffkllpendinginan, dampak lain ketika menggunakanlmesin ini akanklmemakan energi yang cukuplltinggi dandlkurangklefisien, inilah yang mendasari penelitian membuat suatu alat pengkondisian udara DewlPoint

EvaporativelCooling.mEvaporativelcooling adalah sebuah rangkaian proses pengkondisian udara dimana dalamifase cair berkontak langsungldengan udara dan menghasilkan fase gas, sehingga suhu bola keringhjaupun suhu akhir bolah basah akan menjadi lebih rendah.

Mengikuti permasalahan tersebut, bagaimanakah penggunaan pad staggered dengan pengisian tube 75% massa Dry ice terhadap performansi dew point cooling system. Adapun batasan dalam pengujian dilaksanakan di dalam ruangan dan udara lingkungan konstan.

## 2. DasarTeori

Dew point evaporative cooling suatu rangkaian proses pendinginan yang memanfaatkan prinsip evaporative cooling, karena proses ini udara dikontakkan langsung dengan uap air maka akan terjadi perubahan kalor dari panas sensibel menjadi

panas laten. Menggunakan dry ice untuk bahan pengisian solid dry pad karena mempunyai sifat penguapan yang begitu bagus. Es kering sangat cocok digunakan untuk membekukan dan menjaga pembekuan karena memiliki suhu yang begitu dingin diantaranya yaitu :  $-78,5^{\circ}\text{C}$  ataupun  $-109,3^{\circ}\text{K}$ , sesuai pada Gambar 1.



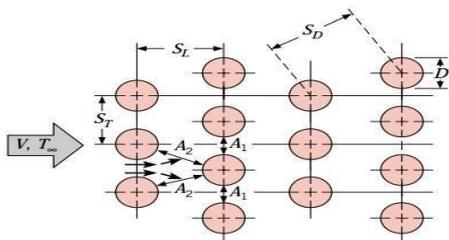
Gambar 1. Karbon Dioksida Padat (Dry Ice)

Kenyamanan suhu udara (*Thermal Comfort*) berdasarkan parameter yang dipakai dalam perancangan gedung yang diterbitkan dari lembaga LPMB-PU menetapkan kenyamanan suhu udara kepada orang Indonesia atas tiga rincian sebagai berikut :

Tabel 1. Suhu Udara Nyaman

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

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



Gambar 2. Satu diantara tipe susunan tube perangkat penukar kalor

Koefisien untuk deret pertama diperkirakan sama dengan tabung tunggal di dalam aliran silang, namun koefisien perpindahan panas yang lebih besar berkaitan dengan tabung dari deret dalam. Tabung dari baris pertama bertindak sebagai grid turbulensi, yang meningkatkan koefisien perpindahan panas untuk tabung di baris berikutnya[3]. Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.

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

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

$$Re_{D, \max} = \frac{\rho V_{\max} D}{\mu}$$

Bilangan reynolds maks didapat berdasarkan kecepatan fluida maksimum yang terjadi dalam tabung.

$$V_{\max} = \frac{S_T}{S_T - D} V \quad (2)$$

Tatkala udara bergerak melalui tabung, laju perpindahan panas mampu secara signifikan diperkirakan dengan menggunakan  $\Delta T = T_s - T_o$  merupakan kontras suhu dalam hukum Newton.

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_s - T_i) - (T_s - T_o)}{\ln \left( \frac{T_s - T_i}{T_s - T_o} \right)} \quad (3)$$

Dikarenakan  $T_i$  dan  $T_o$  merupakan suhu fluida saat memasuki dan keluar tabung. Suhu luar yang dibutuhkan untuk menentukan  $\Delta T_{lm}$  bisa didapatkan dari :

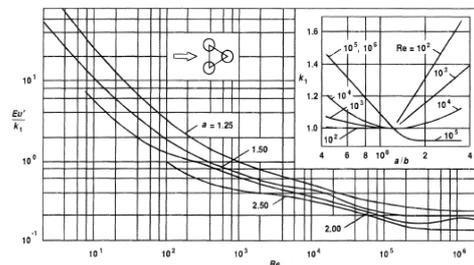
$$\frac{T_s - T_o}{T_s - T_s} = \exp \left( - \frac{\pi D N h}{\rho V N_T S_T c_p} \right) \quad (4)$$

Dikarenakan  $N$  merupakan jumlah keseluruhan tabung dan  $N_T$  merupakan banyaknya tabung dibidang transversal. Setelah  $\Delta T_{lm}$  didapatkan, laju perpindahan per satuan panjang tabung dapat dihitung.

$$q' = N(h\pi D \Delta T_{lm}) \quad (5)$$

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

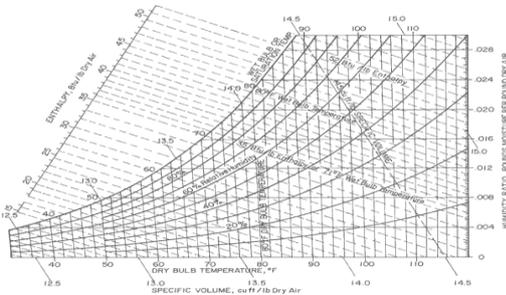
$$\Delta p = N_L X \left( \frac{\rho V^2 \max}{2} \right) f \quad (6)$$



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

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

Perlu diketahui bentuk dan sifat udara yang disebutkan tadi dapat menggunakan diagram yaitu dengan menggunakan *psychrometric chart* [4] sesuai yang ditunjukkan pada Gambar 4.



**Gambar 4. Psychrometric Chart**

Penurunan suhu bola kering udara ( $\Delta T_{dB}$ ) dapat didefinisikan sebagai selisih antara temperatur bola kering udara memasuki sistem dengan temperatur bola kering udara keluar sistem [5].

$$\Delta T_{dB} = T_{dB,i} - T_{dB,o} \quad (7)$$

Efektivitas ini dapat didefinisikan sebagai penurunan temperatur bola kering udara yang dihasilkan dibagi dengan selisih temperatur bola kering udara dan temperatur bola basah udara yang memasuki sistem. (Harris, 1991)

$$\epsilon = \frac{T_{dB,i} - T_{dB,o}}{T_{dB,i} - T_{WB,i}} \quad (8)$$

dimana,

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

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

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

Kapasitas pendinginan ruangan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$q_s = \dot{m} C_p (\Delta T_{dB,i} - \Delta T_{dB,o}) \quad (9)$$

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

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

dimana,

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

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

$P_t$  = konsumsi energi pendinginan (kW)

### 3. Metode Penelitian

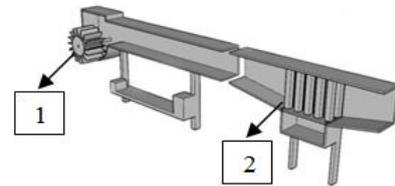
Kecepatan aliran udara divariasikan menjadi 3 yaitu :

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

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

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

Pada gambar 5 yang tampak dibawah ini merupakan suatu desain alat pengujian.

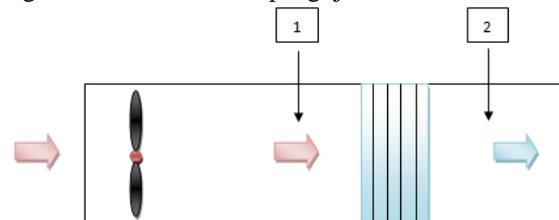


Ulasan Gambar :

1. Kipas
2. Solid Dry Pad

**Gambar 5. Desain Dew Point Cooling Pad**

Pada Gambar 6 seperti dibawah ini, menunjukan gambar skematik dari pengujian.

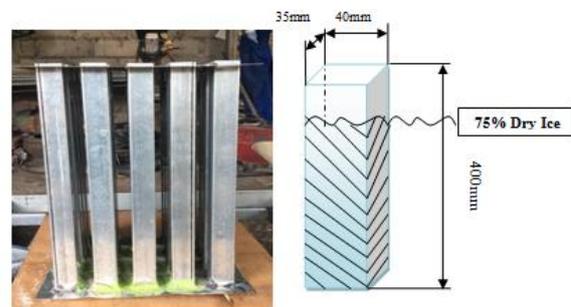


Keterangan gambar :

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

**Gambar 6. Model Skematik Pengujian**

Berikutnya pada Gambar 7 yang merupakan *solid dry pad* pada pengujian.

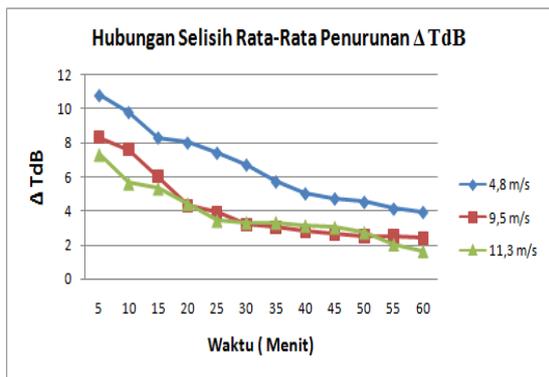


**Gambar 7. Solid Dry Pad dengan Pengisian 75% Massa Dry Ice**

### 4. Hasil dan Pembahasan

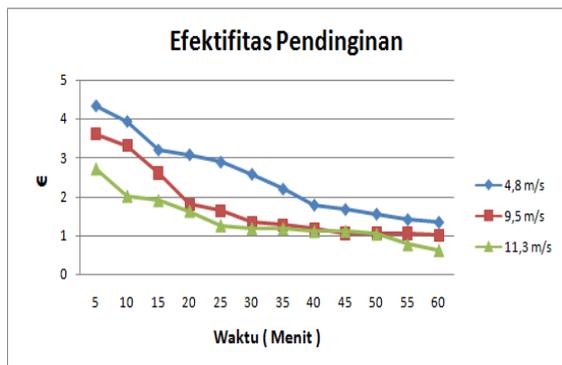
Dari hasil pengujian yang telah dilahkukan maka, didapatkan data distribusi temperatur pada setiap kecepatan aliran udara selama 1 jam. Kemudian dimasukkan ke dalam rumus persamaan diatas, sehingga dapat diperoleh hasil yang dibuat dalam grafik seperti pada Gambar 8 sampai dengan Gambar 17 yang menunjukkan sebuah grafik hasil pengujian.

Menurut Gambar 8 menunjukkan garfik dari penurunan temperatur bola kering udara terhadap kecepatan aliran udara yang tiap-tiap kecepatan dilahkukan pengujian selama 1 jam didapat, terjadi penurunan ( $\Delta T_{dB}$ ) bersamaan dengan meningkatnya kecepatan aliran udara yang diberikan.



**Gambar 8. Grafik Selisih Penuruna Temperatur Bola Kering Udara ( $\Delta T_{dB}$ ) Terhadap Kecepatan Aliran Udara ( m/s)**

Penurunan temperatur bola kering udara lebih besar terjadi pada kecepatan aliran udara 4,8 m/s, keadaan ini ditimbulkan dari proses pendinginan udara pada *Solid Dry Pad* berlangsung lebih lama. Akan tetapi pada kecepatan aliran udara 9,5 m/s dan 11,3 m/s terjadi penurunan temperature bola kering udara yang hampir sama. Keadaan ini timbul karena ketika saat terjadi proses pendinginan udara pada *Solid Dry Pad* berlangsung lebih singkat.

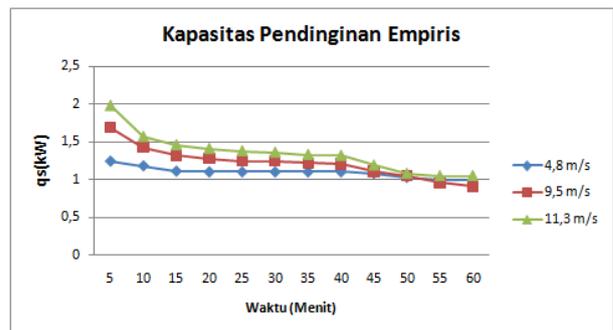
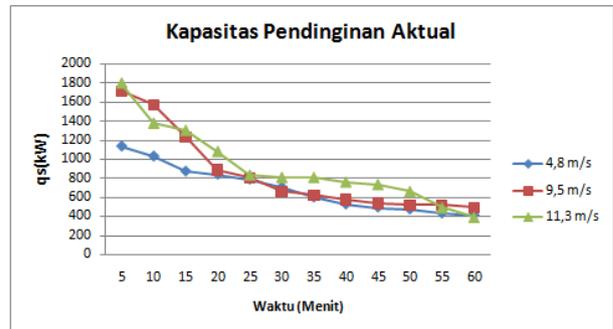


**Gambar 9. Grafik Efektifitas Pendinginan ( $\epsilon$ ) Terhadap Kecepatan Udara (m/s )**

Menurut Gambar 9 di atas memperlihatkan grafik Efektifitas pendinginan ( $\epsilon$ ) kepada kecepatan aliran udara yang diberikan selama 1 jam. Terjadi penurunan, efektifitas pendinginan seiring meningkatnya kecepatan aliran udara yang diberikan. Hal ini disebabkan oleh penyerapan sebagian panas udara oleh *Solid Dry Pad* yang sangat dingin juga pendingin yang diberikan *Pad* tidak konstan inilah yang menyebabkan terjadinya selisih yang agak besar antara  $T_{dB1}$  dengan  $T_{dB2}$ .

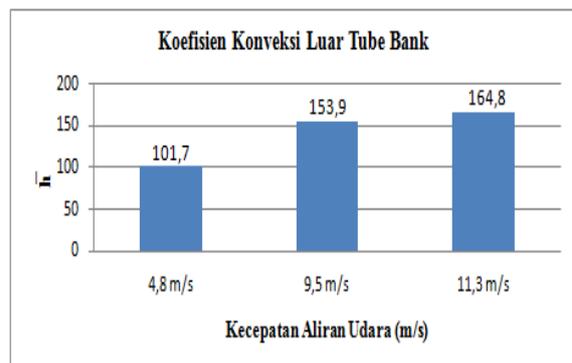
Menurut Gambar 10 di atas memperlihatkan grafik kapasitas pendinginan aktual dan empiris terhadap kecepatan aliran udara sepanjang 1 jam. Terjadi kenaikan kapasitas pendinginan bersamaan

dengan meningkatnya kecepatan aliran udara yang dipakai.



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

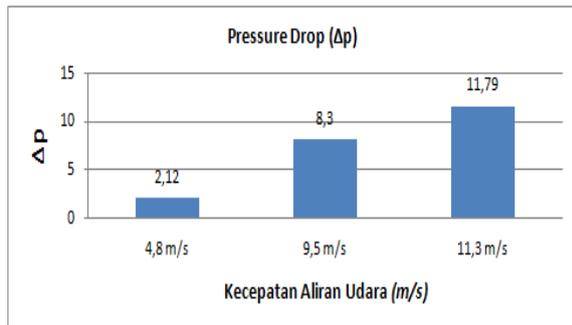
Seiring berjalannya waktu juga terjadi penurunan kapasitas pendinginan akibat *Dry ice* yang menguap. Masalah ini timbul dikarenakan kecepatan udara yang begitu tinggi akan memperbesar selisih antara  $T_{dB1}$  dengan  $T_{dB2}$  dimana, penurunan temperatur bola kering udara jadi begitu besar dikarenakan lebih banyak udara panas yang mampu diserap oleh *Solid Dry Pad* yang berisikan *dry ice*.



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

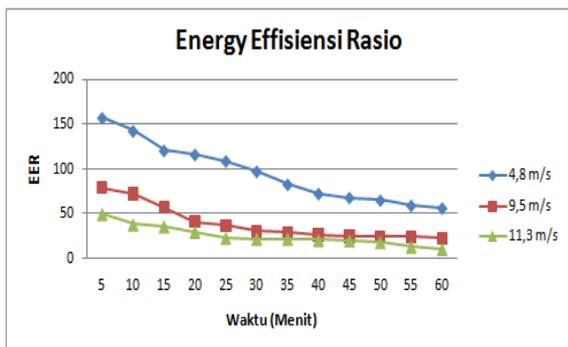
Pada Gambar 11 menunjukkan grafik koefisien konveksi luar tube bank terhadap kecepatan aliran udara yang diberikan selama 1 jam dimana, terjadi peningkatan koefisien konveksi seiring meningkatnya kecepatan aliran udara. Hal ini

ditimbulkan dari nilai Nusselt number pada tiap-tiap kecepatan.



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

Pada Gambar 12 memperlihatkan grafik dari *pressure drop* terhadap kecepatan aliran udara, dimana semakin tinggi kecepatan aliran udara maka *pressure drop* yang dihasilkan juga semakin tinggi. Ini disebabkan karena gaya gesek antara udara dan media *Pad* juga besar.

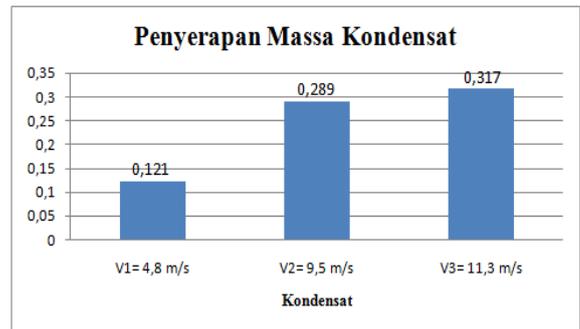


**Gambar 13. Grafik Energi Effisiensi Rasio Terhadap Kecepatan Aliran Udara (m/s)**

Dari gambar 13 memperlihatkan grafik *Energy Efficiency Ratio* (EER) terhadap kecepatan aliran udara yang diujiselama 60 menit. Pada grafik EER merupakan hasil bagi antara kapasitas pendinginan dengan jumlah konsumsi energi pendinginan yaitu, dengan daya fan yang bervariasi sehingga, didapatkan hasil yang berbeda-beda. Pada penelitian tersebut apabila semakin tinggi kecepatan aliran udara maka *energy efficiency rationya* semakin rendah, hal ini disebabkan konsumsi daya listrik fan yang lebih tinggi dan sedikitnya panas yang menyerap ke *solid dry pad* yang berisikan 75% massa *dry ice* yang temperaturnya sangat rendah karena *dry ice* sangat cepat menguap dan daya fan yang dibutuhkan lebih tinggi.

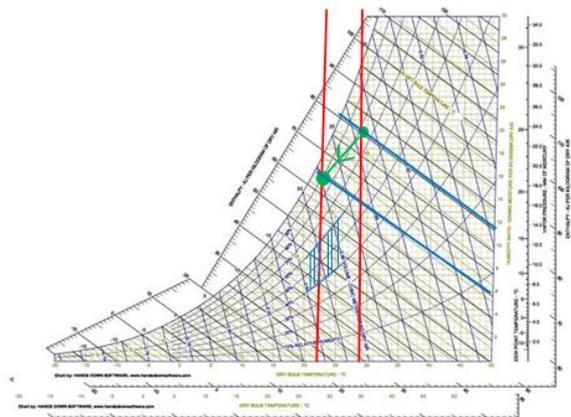
Pengembunan atau kondensasi merupakan proses perubahan molekul di dalam keadaan uap (contohnya uap air) yang dengan spontan menjadi cair. Besarnya laju pengembunan (kondensasi) dapat dihitung dari perbedaan berat kapas sebelum pengujian ( $ma_0$ ) dengan berat kapas sesudah

pengujian ( $ma$ ), jadi semakin cepat laju aliran udara maka semakin banyak kondensat yang diserap.

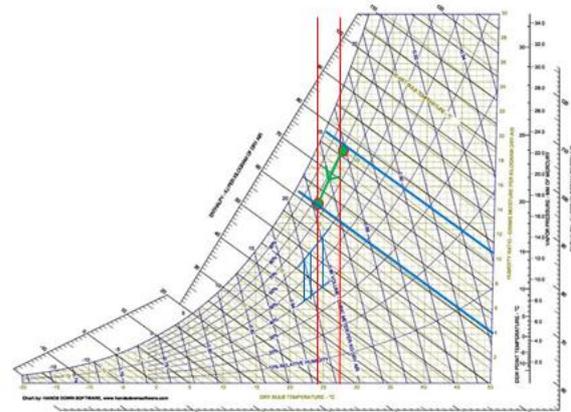


**Gambar 14. Grafik Penyerapan Massa Kondensat**

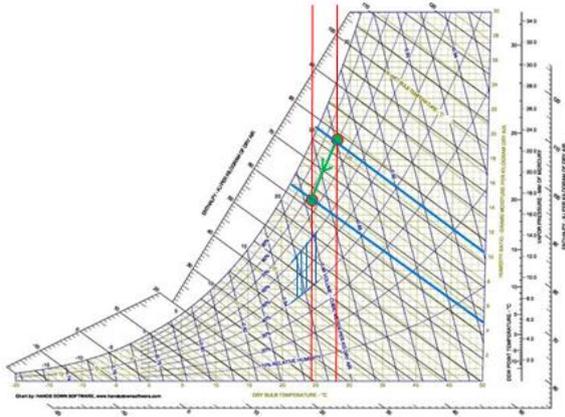
Grafik *Psychrometri* merupakan grafik untuk mengetahui kajian mengenai sifat-sifat campuran udara dan uap air, dengan mengetahui  $T_{in}$  ( $T_1$ ) dan  $T_{out}$  ( $T_2$ ) untuk memudahkan menemukan titik pada diagram *psychrometri chart*, layaknya yang diperlihatkan pada Gambar 15 isampai dengan Gambar 17.



**Gambar 15. Grfik Psychrometri Pada Kecepatan Udara 4,8 m/s, udara mengalami proses pendinginan dan dehumidifikasi.**



**Gambar 16. Grafik Psychrometri pada kecepatan udara 9,5 m/s, udara mengalami proses pendinginan dan dehumidifikasi.**



**Gambar 17. Grafik Psychrometri pada kecepatan udara 11,3 m/s, udara mengalami proses pendinginan dan dehumidifikasi.**

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil daripada penelitian yang telah dilakukakan dari *performansi sistem solid dry pad dengan media pendingin 75% massa dry ice* dapat ditarik kesimpulan beberapa hal antara lain:

1. Efektifitas penggunaan *Cooling Pad* dibandingkan dengan AC, setelah dilakukakan penelitian tidak bisa dipungkiri bahwa, dilihat dari segi kapasitas dan efektifitas pendinginan lebih baik AC dikarenakan menggunakan media pendingin freon dengan siklus tertutup mampu memberikan efek pendinginan secara konstan, dibandingkan *cooling pad* dengan media pendingin *dry ice* seiring berjalannya waktu efek pendinginan yang diberikan semakin menurun.
2. Dari variasi kecepatan udara yang digunakan terhadap *cooling pad* dengan media pendingin 75% massa *dry ice*, kecepatan udara yang paling baik digunakan dari segi performa pendinginan adalah variabel kecepatan 4,8 m/s
3. Dari grafik *psychrometric* pada seluruh variasi kecepatan aliran udara mengalami proses pendinginan dan dehumidifikasi.

## Daftar Pustaka

- [1] Ikadek Chris Setawan, Hendra Wijaksana, I Nengah Suarnadwipa, 2018, *Studi Eksperimental Performansi Pendingin Evaporative Cooling Pads Dengan Tapis Kelapa Dan Jerami*, Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika, Volume 7 No. 1, 50-53
- [2] Seth I. Manua & Simon O. Odey, 2012, *Evaluation of Pads and Geometrical Shapes for Constructing Evaporative Cooling System*.6.
- [3] A A Dwi Santika, Hendra Wijaksana, Ketut Astwa, 2016, *Studi Eksperimental Performansi Cooling Pad Berbahan Sumbu Kompor Tanpa Duting Dan Dengan*

*Ducting*, Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika.

- [4] Cahyo Hardanto, Bambang Yudianto, *Uji Prestasi Pendinginan Evaporasi Kontak Tidak Langsung (Indirect Evaporative Cooling) Dengan Variasi Temperatur Media Pendingin Air*.
- [5] Putra Toni Dwi, Finahari Nurida, 2011, *Pengaruh Perubahan Temperatur Media Pendingin Pada Direct Evaporative Cooler*, Jurnal Proton, Volume 3, No 1.
- [6] Jesse Dean, Lesley Herman, Eric Kozubal, dan Jesse Geiger, 2012, *Dew Point Evaporative Comfort Cooling*, *Evaporative Cooling*, 1, 21-30.

	<p><b>Dwi Wahyu Krisna Yoga</b> telah menyelesaikan studi program sarjana di jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2015 sampai 2021. Menyelesaikan studi program sarjana S1 dengan topic penelitian “<b>Performansi Sistem Solid Dry Pad Dengan Media Pendingin 75% Massa Dry Ice</b>”</p>
Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan konversi energi.	

# Rancang Bangun Sistem Elektroplating Otomatis Berbasis Teknologi Android

I Kadek Ricky Adriyasa, I G.N. Nitya Santhiarsa, I G.B. Wijaya Kusuma  
*Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali*

## Abstrak

Penelitian ini berupaya untuk membantu para pengusaha konvensional di Bali mengembangkan teknologi dengan teknologi digital otomatisasi, agar proses pelapisan logam dapat dikendalikan lebih mudah secara simultan tanpa terkendala jarak. Penelitian ini juga untuk mengetahui sistem kontrol pada alat proses elektroplating berfungsi atau terhubung dengan laptop dan smartphone android melalui internet, untuk terhubungnya smartphone android dan laptop pada saat proses elektroplating penelitian ini menggunakan aplikasi Blynk, pemrograman Arduino, Alat Node MCU ESP 8266. Pada proses elektroplating dengan sistem kontrol dilakukan dua kali pengujian dengan spesimen I dan spesimen II yang di dapatkan hasil berat spesimen menggunakan dua timbangan yaitu timbangan analitik dan timbangan digital. Dari timbangan tersebut didapatkannya hasil yang hampir sama timbangan analitik spesimen I tanpa kontrol menunjukkan hasil 2,8861g hasil ini mendekati dari hasil timbangan digital yaitu 2,89g, untuk hasil timbangan analitik spesimen II yaitu 3,3009g hasil ini mendekati dari timbangan digital yaitu 3,26g dan untuk spesimen I dengan kontrol menunjukkan hasil 2,9444g hasil ini sama dengan hasil timbangan digital yaitu 2,94g sedangkan untuk spesimen II menunjukkan hasil yaitu 3,4238g hasil ini mendekati dari hasil timbangan digital yaitu 3,50g.

Kata kunci: Elektroplating, sistem kontrol, smartphone android

## Abstract

This study seeks to help conventional entrepreneurs in Bali develop technology with digital automation technology, so that the metal plating process can be controlled more easily simultaneously without being constrained by distance. This research is also to find out the control system on the electroplating process tool functions or is connected to a laptop and android smartphone via the internet, to connect an android smartphone and a laptop during the electroplating process this research uses the Blynk application, Arduino programming, the MCU ESP 8266 Node Tool. In the electroplating process with the control system, two tests were carried out with specimen I and specimen II, which resulted in the weight of the specimen using two scales, namely analytical scales and digital scales. From these scales, the results are almost the same as the analytical balance for specimen I without control, showing the results of 2.8861g. This result is close to the result of the digital scale, which is 2.89g, for the analytical balance of specimen II, which is 3.3009g, this result is closer to the digital scale, which is 3.26g and for specimen I with control, the result is 2.9444g, this result is the same as the digital scale, which is 2.94g, while for specimen II, the result is 3.4238g, this result is close to the digital scale, which is 3.50g.

Keywords: Electroplating, Control System, Android Smartphone

## 1. Pendahuluan

Elektroplating adalah menggunakan logam sebagai media untuk melapisi benda padat yang mempunyai bersifat konduktor yang dibantu aliran arus listrik. Didunia plating, jenis logam pelapis yang sering digunakan antara lain tembaga, nikel dan krom. Jenis tembaga yang banyak dipilih untuk pelapisan dasar [1]. Proses elektroplating juga digunakan untuk menanggulangi terjadinya korosi, korosi akan terjadi sebagai akibat adanya oksidasi antara logam. Maka dari itu pelapisan logam banyak digunakan untuk *finishing* terutama untuk logam-logam yang mudah mengalami korosi. Selama ini Bali sangat memerlukan pengembangan teknologi secara otomatis untuk proses pelapisan logam, karena perkembangan teknologi yang sangat pesat membuat masyarakat selalu menginginkan segala sesuatu yang serba efisien.

Ada beberapa penelitian terdahulu yang dilakukan oleh [2] mengemukakan hasil dari penelitian bahwa menunjukkan rata-rata kekuatan tarik dan

kekerasan aluminium mengalami peningkatan setelah mendapatkan perlakuan elektroplating. Penelitian yang dilakukan oleh [3] mengemukakan bahwa waktu beserta suhu pelapis memiliki pengaruh yang signifikan pada nilai ketebalan serta kekasaran permukaan, sedangkan untuk penelitian terdahulu sistem android oleh [4] mengemukakan hasil penelitian yang diperoleh, *Arduino Uno* tidak menyediakan ruang saat pengelolaan data base secara online sehingga memerlukan *software* pendukung lainnya. Sebagai pengendali dan sistem android merupakan media penghubung informasi saling terkait merupakan sumber informasi yang terbuka. Penelitian yang dilakukan oleh [5] mengemukakan hasil penelitian yang diperoleh bahwa mesin memiliki keakuratan saat menimbang dan android dapat berfungsi maksimal dengan jarak ideal guna mengamankan sistem dari mesin dengan jumlah penghalang tertentu. Berdasarkan latar belakang diatas, penulis mencoba melakukan penelitian tentang elektroplating berbasis teknologi android

karena selama ini para pelaku usaha konvensional di Bali sekarang sangat memerlukan pengembangan teknologi dengan teknologi digital otomatisasi, agar proses pelapisan logam dapat dikendalikan lebih mudah secara simultan tanpa terkendala oleh jarak.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka pokok permasalahan dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana rancang bangun sistem elektroplating otomatis berbasis teknologi android?

Beberapa batasan yang ditetapkan dalam penelitian ini meliputi:

1. Proses pelapisan pada temperatur konstan.
2. PH larutan elektrolit dianggap konstan.
3. Tegangan 9 V konstan.
4. Sistem android menggunakan kontrol arduino.
5. Jarak elektroda 2cm.
6. Jarak antara *workshop* dengan posisi peneliti bebas asalkan ada sinyal yang bagus.

## 2. Dasar Teori

Elektroplating merupakan logam digunakan sebagai pelapis, yang disertai dengan penggunaan arus listrik dan senyawa kimia tertentu guna memindahkan partikel logam pelapis ke material yang hendak dilapisi. Ada beberapa penelitian mengenai Elektroplating yang dilakukan oleh mengemukakan bahwa hasil dari penelitian menunjukkan rata-rata kekuatan tarik dan kekerasan aluminium mengalami peningkatan setelah mendapatkan perlakuan elektroplating. Android merupakan perangkat bergerak pada sistem operasi untuk telepon seluler yang berbasis *Linux*. Android merupakan perangkat bergerak pada sistem operasi untuk telepon seluler yang berbasis *Linux* [6]. *Linux* sendiri merupakan sistem operasi yang memang khusus dirancang untuk komputer.

Hukum Faraday yang dicetuskan oleh Michael Faraday pada tahun 1833. Terdapat dua hukum yang dicetuskan terkait dengan hubungan kelistrikan dengan ilmu kimia. Dua hukum tersebut adalah hukum I yang menyatakan bahwa setiap jumlah elemen atau grup elemen yang dibebaskan pada kedua anoda dan katoda selama elektrolisa berbanding lurus dengan jumlah aliran listrik dalam larutan. Hukum II menyatakan bahwa jumlah arus listrik sebanding dengan jumlah ion yang dibebaskan dengan memberi sejumlah arus listrik.

Persamaan Faraday [7].

$$w = \frac{I \times t \times A}{z \times F} \quad (1)$$

dimana:

- w = berat lapisan (gram).
- I = arus DC (ampere).
- t = waktu pelapisan (detik).
- A = berat atom dari logam yang akan dilapiskan (gram/mol)
- z = valensi dari logam yang akan dilapiskan.

F = bilangan Faraday sebesar 96500 coulomb.

Jumlah ion pada logam yang tersimpan secara langsung sesuai dengan jumlah aliran dan durasi merupakan hukum Faraday. Berbeda dengan hukum Faraday, Hukum Ohm menyatakan bahwa aliran arus sebanding dengan tegangan DC dan terbanding terbalik dengan ketahanan sistem. Plating massa merupakan proses pelapisan menggunakan listrik dengan ukuran besar atau kecil. Plating massa dilakukan dengan peralatan khusus yang ditentukan oleh ukuran maupun geometri komponen yang dilapisi dan proses yang digunakan.

Tembaga atau *copper* adalah salah satu unsur logam berbentuk Kristal dengan warna kemerahan dengan nama kimia *cuprum* di lambangkan dengan Cu [8] Tembaga merupakan logam transisi golongan IB yang memiliki nomor atom 29 dan berat atom 63,55 g/mol. Tembaga di alam banyak ditemukan dalam bentuk persenyawaan atau sebagai senyawa padat dalam bentuk mineral [9]. Tembaga secara alami terdapat didalam lapisan kulit bumi dalam berbagai bentuk seperti sulfida (*chalcopyrite*, *bornite*, *chalcosite*, *covellite*), dalam bentuk karbonat (*azurite* dan *malachite*), dalam bentuk silikat (*chrysocolla* dan *diopside*) dan juga sebagai tembaga murni.

Jenis logam yang banyak digunakan pada industri adalah Nikel. Nikel banyak digunakan terutama pada industri kimia, dan pelapisan logam, karena sifatnya yang tahan korosi dan lunak. Berwarna putih keperak-perakan, berkilat halus, sehingga bisa dipoles dan sebagai lapis lindung akan kelihatan tampak rupa yang indah dan mengkilap.

Revolusi industri 4.0 adalah bentuk perubahan *fundamental* di bidang industri. Revolusi 4.0 merupakan kata lain dari perkembangan industri yang telah memasuki gelombang empat. Industri 4.0 ditandai dengan perkembangan teknologi yang semakin canggih dan adanya kemudahan dan kecepatan berbagai aktivitas pada sektor industri. Revolusi industri 4.0 menciptakan keefektifan dan keefisien penggunaan teknologi dalam berbagai aktivitas industri.

Android merupakan salah satu sistem operasi khusus yang dirancang untuk smartphone dan tablet. Sistem android mempunyai basis *Linux* yang dijadikan pondasi dari sistem operasi *android*. *Linux* sendiri merupakan sistem operasi yang memang khusus dirancang untuk komputer [10].

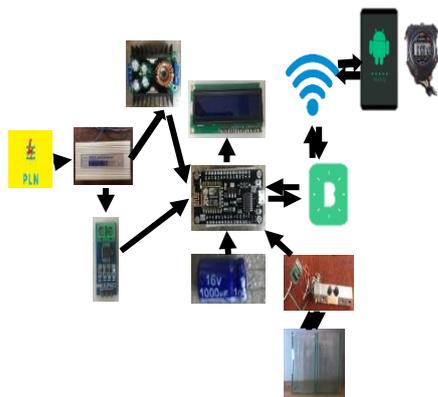
Sensor digunakan untuk mendeteksi perubahan besaran fisik [11]. Untuk mengukur arus yang melewati sensor ini digunakan rumus tegangan pada *pin out* =  $2,5 \pm (0,185 \times I)$  Volt, dimana I = arus yang terdeteksi dalam satuan *Ampere*. Sensor Arus ACS 712 dapat digunakan sebagai sensor untuk membaca aliran arus listrik maupun sebagai proteksi dari beban berlebih. Sensor ini biasanya digunakan pada *project* yang berbasis *mikrokontroler* seperti *Arduino* dan AVR.

Pengujian berat hasil lapisan atau berat total diukur dengan sensor berat dan hasilnya dilansir secara *realtime*, dalam bentuk grafik terekam dalam sistem android dan jika ingin diketahui berat lapisan saja maka berat total dikurangi berat awal ( Dalam Satuan Gram).

### 3. Metode Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Laptop (untuk mengolah data)
2. *Smartphone android* (kontrol sistem pada *prototype* alat)
3. *Hotspot Wifi*
4. Node MCU 8266
5. *Load Cell* Sensor
6. *Power Supply* 12 V 30 A
7. *Kapasitor* 16 V
8. *Volimeter*
9. *Stepdown*
10. *Pressbutton*
11. Caput Buaya
12. Katoda
13. Anoda
14. Larutan (asam sulfat, tembaga sulfat, asam klorida)
15. Tembaga
16. Nikel
17. Bak Plating, Bak Pembilas
18. Gelas Ukur
19. *Timer*
20. Amplas
21. Jangka Sorong
22. Autosol
23. Aquades



**Gambar 1. Proses Elektrolating Otomatis Berbasis Teknologi Andorid**

Adapun prosedur rancang bangun yang dilakukan sebagai berikut:

1. Perhitungan kapasitas bak plating.
2. Perakitan komponen elektrolating.
3. Penyetelan kuat arus, tegangan dan waktu.
4. Pemasangan sensor dan pemrograman android.

5. Melakukan setting koneksi antaran *smartphone android* dan sistem elektrolating dengan jaringan *wifi*.

Adapun prosedur pengujian yang dilakukan sebagai berikut:

1. Melakukan kalibrasi untuk mengukur arus dan berat pada sistem elektrolating.
2. Persiapan spesimen yang akan dipakai sebagai katoda.
3. Persiapan bahan yang digunakan sebagai Anoda.
4. Melakukan *setting* tegangan, arus dan waktu pada sistem elektrolating dengan *smartphone android*.
5. Melakukan pengujian elektrolating dengan sistem kontrol.
6. Mencatat dan mengolah hasil yang didapat sehingga didapatkan kesimpulan.
7. Validasi hasil, membandingkan hasil, dan berat akhir dengan timbangan analitik agar hasilnya lebih valid.

### 4. Hasil dan Pembahasan

#### 4.1. Hasil Pengujian Sensor Pada Alat

Hasil pengujian sensor pada alat menunjukkan bahwa hasil pengujian sensor pada alat sudah berfungsi dengan baik dan statusnya *OK*.

Hasil pengujian *connection to wifi* yaitu untuk menyatakan status konektifitas Node MCU melalui internet, Node MCU akan melaporkan secara *real time* segala aktifitas yang terjadi pada sistem elektrolating ke *smartphone android* melalui server *blynk*.

Sensor arus (ACS712) yang akan dipasangkan di Node MCU yang akan digunakan untuk membaca aliran arus listrik maupun sebagai proteksi dari beban berlebih. Pada saat proses elektrolating, sensor arus ini menunjukkan angka aliran arus dan otomatis akan tercatat melalui *Microsoft Excel*.

Sensor *Load Cell* dipasangkan pada material yang akan di plating (katoda) untuk mengetahui berat awal dari nikel. Cara kerjanya yaitu ketikan sensor *load cell* diberi beban akan mendeteksi berat awal spesimen kerja (nikel) dan berat awal dari spesimen kerja yang belum di *plating* adalah 4,02 gram.

#### 4.3 Kalibrasi Load Cell

Kalibrasi *load cell* bertujuan untuk mengatur dan mengecek keakuratan alat ukur dengan cara membandingkannya dengan tolak ukur yang standar. *Load Cell* yang diberi beban terbaca beratnya 4,02 gram dan timbangan digital diberi beban yang sama terbaca beratnya 4,02 gram, jadi untuk kalibrasi *load cell* dan timbangan *digital* sama-sama memberikan hasil yang sama sesuai dengan standarnya.

#### 4.4 Kalibrasi Arus

Kalibrasi Arus ini bertujuan untuk mengatur dan mengecek keakuratan alat ukur dengan cara membandingkannya dengan tolak ukur yang standar. Sensor arus yang pada saat proses elektrolating di multimeter terbaca 1,74 amper dan di sensor arus

juga terbaca 1,74 amper, jadi untuk kalibrasi arus ini sama-sama memberikan hasil yang sama sesuai dengan standarnya.

#### 4.5 Pengambilan Data Tanpa Sistem Kontrol (Spesimen I)

Pengambilan data tanpa menggunakan sistem kontrol sebelum dielektroplating menggunakan anoda yaitu tembaga dan katoda yaitu nikel sebagai spesimen I yang akan dilapisi memiliki berat awal spesimen yaitu 2,70gram, dengan waktu elektroplating yang digunakan selama 30 menit, jarak elektroda 2cm dengan arus 1,65 amper dan tegangan 9,49 volt sedangkan yang setelah di elektroplating saat ditimbang beserta keraknya mendapatkan hasil 4,08 gram dan tanpa kerak mendapatkan hasil 2,89 gram.



Gambar 2. Hasil Berat Spesimen I Setelah Di Elektroplating Tanpa Kerak

Pengambilan data tanpa menggunakan sistem kontrol sebelum dielektroplating menggunakan anoda yaitu tembaga dan katoda yaitu nikel sebagai spesimen II yang akan dilapisi memiliki berat awal spesimen yaitu 3,23 gram, dengan waktu elektroplating yang digunakan selama 30 menit, jarak elektroda 2cm dengan arus 1,58 amper dan tegangan 9,94 volt sedangkan yang setelah di elektroplating saat ditimbang beserta keraknya mendapatkan hasil 4,82 gram dan tanpa kerak mendapatkan hasil 3,26 gram.



Gambar 3. Hasil Berat Spesimen II Setelah Di Elektroplating Tanpa Kerak.

#### 4.6 Pengambilan Data Dengan Sistem Kontrol (Spesimen I)

Pengambilan data dengan sistem kontrol sebelum dielektroplating menggunakan anoda yaitu tembaga dan katoda yaitu nikel sebagai spesimen I yang akan dilapisi memiliki berat awal spesimen yaitu 2,70gram, dengan waktu elektroplating yang digunakan selama 30 menit, jarak elektroda 2cm dengan arus 1,68 amper dan tegangan 9,43 volt

sedangkan yang setelah di elektroplating saat ditimbang beserta keraknya mendapatkan hasil 4,16gram dan tanpa kerak mendapatkan hasil 2,94gram.



Gambar 4. Hasil Berat Spesimen I Setelah Di Elektroplating Tanpa Kerak.

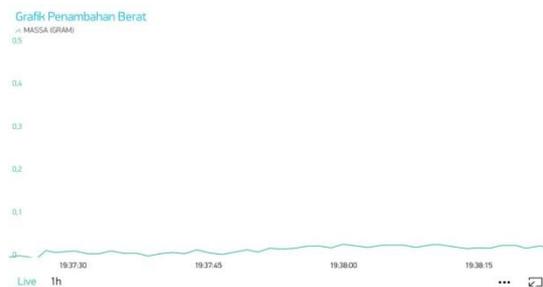
#### Grafik Penambahan Berat



Gambar 5. Penambahan Berat Spesimen I Terpantau Dari Smartphone Android.



Gambar 6. Hasil Berat Spesimen II Setelah Di Elektroplating Tanpa Kerak.



Gambar 7. Penambahan Berat Spesimen II Terpantau Dari Smartphone Android.

Pengambilan data dengan sistem kontrol sebelum dielektroplating menggunakan anoda yaitu tembaga dan katoda yaitu nikel sebagai spesimen II yang akan dilapisi memiliki berat awal spesimen yaitu 3,25 gram, dengan waktu elektroplating yang digunakan selama 30 menit, jarak elektroda 2cm dengan arus 1,62 amper dan tegangan 9,64 volt sedangkan yang setelah di elektroplating saat

ditimbang beserta keraknya mendapatkan hasil 4,87 gram dan tanpa kerak mendapatkan hasil 3,50 gram.

#### 4.7 Validasi

Untuk mendapatkan hasil spesimen yang sesuai setelah di elektroplating maka dilakukannya validasi, agar setelah proses elektroplating spesimen akan di timbang beratnya menggunakan timbangan *digital* setelah itu ditimbang menggunakan timbangan analitik di Lab Analitik Universitas Udayana yang dimana hasil dari timbangan analitik hampir mendekati atau hampir sama dengan hasil dari timbangan *digital* tersebut.

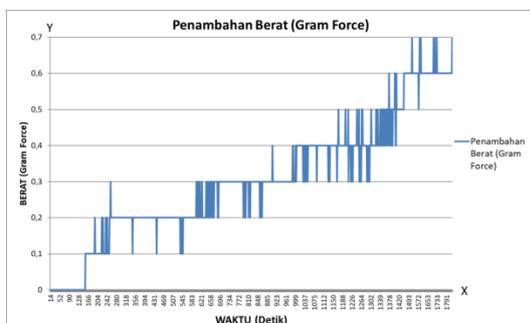
Pada timbangan analitik spesimen I tanpa kontrol yang di timbang pada Lab Analitik Universitas Udayana menunjukkan hasil 2.8861g hasil ini mendekati dari hasil timbangan *digital* yaitu 2,89g, sedangkan spesimen II tanpa kontrol pada timbangan analitik menunjukkan hasil 3,3009g hasil ini mendekati dari hasil timbangan *digital* yaitu 3,26g.

Hasil timbangan analitik dengan sistem kontrol spesimen I menunjukkan hasil 2,9444g hasil ini sama dengan dengan hasil timbangan *digital* yaitu 2,94g, sedangkan hasil spesimen II dengan kontrol menunjukkan hasil 3,4238g hasil ini mendekati hasil dari timbangan *digital* yaitu 3,50g.

#### 4.8 Pengambilan Data Pada Saat Proses Elektroplating Dengan Sistem Kontrol

Pengambilan data ini bertujuan untuk mengetahui penambahan berat yang terjadi pada saat proses elektroplating menggunakan sistem kontrol sehingga dapat melihat data-data setiap yang detik tercatat dan dikirimkan ke *Microsoft Excel* secara otomatis. Pengambilan data dilakukan selama dua hari kerja dengan melakukan dua kali pengujian menggunakan sistem kontrol yaitu pada hari rabu mulai dari pukul 23:30 sampai 00:00 dan pada hari kamis mulai dari pukul 19:30 sampai 20:11. Data pada saat proses elektroplating dibagi menjadi dua data karena dilakukan dua kali pengujian yang pertama ada data spesimen I dan data spesimen II.

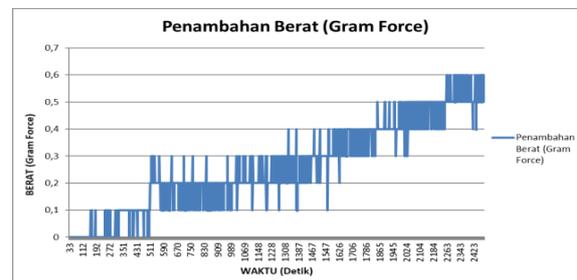
berat dari waktu ke waktu pada saat proses elektroplating tersebut.



Gambar 8. Grafik Penambahan Berat Spesimen I.

Pada gambar 8 terlihat data grafik penambahan berat yang mengalami kenaikan secara perlahan mulai dari nol (0) sampai 0,7 dari detik 156 sampai 1.826 detik yang secara otomatis tercatat di *Microsoft*

*Excel* dan menunjukkan data yang tercatat mengalami kenaikan dan penurunan karena adanya faktor *external* yang di sebabkan oleh angin dan tekanan balik dari elektrolit.

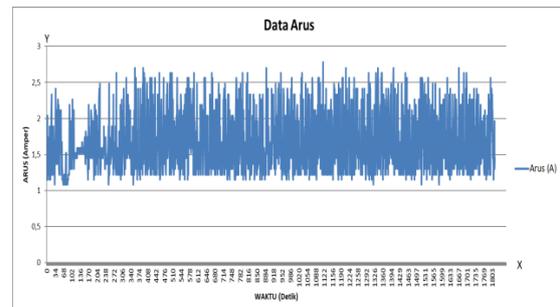


Gambar 9. Grafik Penambahan Berat Spesimen II.

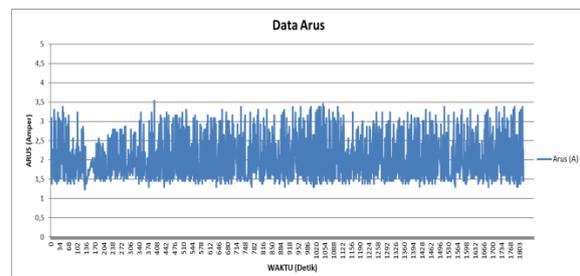
Pada gambar 9 terlihat data grafik penambahan berat yang mengalami kenaikan secara perlahan mulai dari nol (0) sampai 0,6 dari detik 160 sampai 2.485 detik yang secara otomatis tercatat di *Microsoft Excel* dan menunjukkan data yang tercatat mengalami kenaikan dan penurunan karena adanya faktor *external* yang di sebabkan oleh angin dan tekanan balik dari elektrolit.

#### 4.9 Pengambilan Data Arus Pada Saat Proses Elektroplating Dengan Sistem Kontrol

Pada data arus saat proses elektroplating ini selain data penambahan berat yang tercatat di *Microsoft Excel*, data arus juga tercatat di *Microsoft Excel* untuk mengetahui bagaimana arus yang terjadi pada saat proses elektroplating dengan kontrol. Data arus pada saat proses elektroplating dibagi menjadi dua data arus karena dilakukan 2 kali pengujian yang pertama ada data spesimen I dan data spesimen II.



Gambar 10. Grafik Data Arus Spesimen I.



Grafik 11. Grafik Data Arus Spesimen II.

Pada gambar 10 data arus yang tercatat di *Microsoft Excel* menunjukkan data yang tercatat mengalami kenaikan dan penurunan karena adanya

faktor *external* yang di sebabkan oleh angin dan tekanan balik dari elektrolit.

Pada grafik 11 data arus yang tercatat di *Microsoft Excel* menunjukkan data yang tercatat mengalami kenaikan dan penurunan karena adanya faktor *external* yang di sebabkan oleh angin dan tekanan balik dari elektrolit.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian maka dapat disimpulkan bahwa penggunaan sistem kontrol pada saat proses elektroplating mampu terkoneksi ke laptop dan *smartphone android* dengan menggunakan *internet* yang tersambung dari Node MCU dan *load cell* yang pada saat proses elektroplating terjadi penambahan berat yang secara otomatis tercatat dan dikirimkan ke *Microsoft Excel* sebagai tanda bukti bahwa penambahan berat tersebut terkoneksi langsung ke *internet*. Sebelum proses elektroplating alat-alat semua sudah terkalibrasi terlebih dahulu agar hasil yang di dapatkan sama dengan hasil dengan standarnya.

## Daftar Pustaka

- [1] Riyanto, P., 2013, *Elektrokimia dan aplikasinya (ke-1)*, Graha Ilmu.
- [2] Sugara, I. R., 2016, *Kekuatan Tarik Dan Kekerasan Aluminium Setelah Di Elektroplating Dengan Variasi Pelapisan Al-Zn-Ni Dan AL-ZN-Cu-Ni*, 42.
- [3] Basmal, Seno, B., & Nugroho, S., 2012, *Pengaruh Suhu Dan Waktu Pelapisan Tembaga-Nikel Pada Baja Karbon Rendah Secara Elektroplating Terhadap Nilai Ketebalan Dan Kekerasan*, 14.
- [4] Kusumawardhani, A., Nurdin, S., & Sari, M. S. A., 2017, *Teknologi Smartphone Android Dan Aplikasinya Sebagai Pengendali Pintu Air Daerah Aliran Sungai (DAS)*, Engineering and Sains, 1(2), 89–94.
- [5] Santoso, B., & Kholis, N., 2018, *Rancang Bangun Mesin Otomatis Adonan Roti Berbasis Arduino Uno Dan Android*, Teknik Elektro, 7.
- [6] Arifianto, T., 2011, *Membuat Interface Aplikasi Android Lebih Keren dengan LWUIT*, Yogyakarta: Andi Publisher, In *Perpustakaan STIKOM Bali* (1st ed.)
- [7] Soleh Wahyudi., 2006, *Buku Saku Elektroplating*, (2nd ed.). CV. GAMA TEHNIK.
- [8] Riadi, M., 2020, *Temabaga (Definisi, Karakteristik, Sifat, Penggunaan dan Dampak Keracunan Limbah)*. Kajian Pustaka. <https://www.kajianpustaka.com/2020/09/temba>

ga.html?m=1

- [9] Palar, H., (2004, *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*, Rineka Cipta.
- [10] Riyadi, H., 2017, *Pengertian Android Beserta Sejarah, Kelebihan dan Kekurangannya*, Nasabamedia, <https://www.nesabamedia.com/pengertian-android-beserta-kelebihan-dan-kekurangannya/>
- [11] Kho, D., 2020, *Pengertian Sensor Dan Jenis-Jenis Sensor*, Teknik Elektronika. <https://teknikelektronika.com/pengertian-sensor-jenis-jenis-sensor/>



I Kadek Ricky Adriyasa menyelesaikan studi program sarjana di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2016 sampai 2021. Menyelesaikan studi program sarjana dengan topik penelitian Rancang Bangun Sistem Elektroplating Otomatis Berbasis Teknologi Android.

# Analisis Pengukuran Kualitas Hasil Pengecoran Bilah Gangsa Gamelan Dengan Metode Six Sigma

Briyan Marcelo, I Gusti Ngurah Priambadi, A.A.A.I.S. Komala Dewi  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit, Jimbaran Bali

## Abstrak

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh persaingan di pasar gamelan terus berkembang, dan pandangan masyarakat berubah dari harga menjadi kualitas. Kualitas pada coran Gamelan merupakan faktor yang harus diperhatikan dalam proses pembuatannya. Tujuan dari penelitian ini adalah menggunakan metode Six Sigma untuk mengurangi tingkat cacat kualitas coran gamelan. Peralatan Six Sigma yang digunakan adalah DMAIC (define, measurement, analyze, improvement, control). Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimen yang menggunakan aturan Six Sigma untuk menguji untuk mendapatkan atau menentukan cacat geometrik pada coran. Objek penelitian adalah 41 bilah Gamelan Bali Pemmada Utama, perbandingan pencampuran bahan 80% Cu - 20% Sn. Data penelitian diperoleh melalui observasi langsung, penelusuran kepustakaan, dan dokumentasi. Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini adalah Statistical Products and Service Solutions (SPSS). Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari 41 bilah gamelan yang diproduksi, muncul 17 cacat. Terlihat bahwa tingkat kualitas peluncuran sigma gamelan Bali adalah 1,7253. Kualitas hasil coran gamelan Bali Pemmada Utama cukup baik, namun sering terjadi kegagalan material yang dapat menimbulkan kerugian yang cukup besar jika tidak ditangani, karena semakin banyak produk yang gagal dalam proses pengecoran produksi, tentunya juga akan meningkatkan biaya produksi.

Kata Kunci : Bilah Gamelan, Six Sigma, Hasil Kualitas Coran, Cacat Coran

## Abstract

The motivation for this study is that competition in the gamelan market continues to grow, and people's views are changing from price to quality. The quality of Gamelan castings is a factor that must be considered in the manufacturing process. The purpose of this research is to use the Six Sigma method to reduce the quality defect level of gamelan castings. The Six Sigma equipment used is DMAIC (definition, measurement, analysis, improvement, control). This research was conducted using an experimental method that uses Six Sigma rules to test to obtain or determine geometric defects in castings. The research object is 41 Bali Gamelan Pemmada Utama bars, the mixing ratio of the material is 80% Cu - 20% Sn. Research data is obtained through direct observation, literature search, and records. The software used in this study is Statistical Products and Service Solutions (SPSS). The results showed that of the 41 gamelan sheets manufactured, 17 defects appeared. It can be seen that the sigma launch quality level of Bali gamelan is 1.7253. The quality results of Pemmada Utama's Bali gamelan castings are quite good, but material failures often occur, which can cause considerable losses if not handled, because more and more products are not qualified during the casting process production, which, of course also increases production costs.

Keywords: Gamelan Bars, Six Sigma, Casting, Quality Results, Casting Defects

## 1. Pendahuluan

Perspektif masyarakat dalam memilih produk gamelan telah berubah di pasar gamelan yang terus berkembang ini. Hal ini telah berkembang tidak hanya dalam hal biaya tetapi juga dalam hal kualitas. Salah satu faktor penting dalam meningkatkan kualitas produk gamelan adalah pengendalian kualitas, yang merupakan bagian dari proses produksi. Proses pembuatan gamelan pasti ada proses pengecorannya, proses pengecoran sendiri adalah proses produksi dengan cara meleburkan bahan baku (dalam hal ini menggunakan unsur Cu & Sn) lalu masuk ke rongga cetakan yang mirip dengan penampilan dari produk asli untuk dibuat selanjutnya [1]. Timah ada

didalam unsur golongan 14 (p) lebih bersifat logam daripada dengan tiga anggota unsur pertama yaitu karbon (C), Silicon (Si), dan germanium (Ge). Industri gamelan Bali berbahan perunggu cukup banyak tumbuh di Bali khususnya di Desa Tihingan, Kabupaten Klungkung. Desa Tihingan berada di Kecamatan Banjarangkan, Kabupaten Klungkung, berjarak 3 km dari Kota Semarang [2]. Profil Desa Tihingan tahun 2010 tercatat (70%) penduduk berprofesi sebagai pengrajin gamelan. Penyebab timbulnya ketidakpuasan terhadap produk gamelan ini adalah karena banyaknya cacat dimensi coran pada produk gamelan. Misalnya, adanya ketidakseragaman bentuk, ukuran, dan jumlah hasil yang dihasilkan. Dalam hal ini salah satu cara untuk mengatasi

perbaikan kualitas cacat gamelan adalah dengan menggunakan metode “Six Sigma”. *Six Sigma* adalah konsep statistik yang mengukur proses yang terkait dengan cacat. *Six Sigma* memiliki metodologi DMAIC yang menyajikan lima langkah: definisi, pengukuran, analisis, memperbaiki, dan control [3]. Dalam penelitian ini yang bertempat di gamelan Pak Made Sutama menggunakan metode DMAIC.

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan, untuk mengurangi tingkat cacat hasil kualitas produksi pada proses pengecoran gamelan menggunakan pendekatan *Six Sigma* gamelan Bali. Untuk mencapai hasil yang diinginkan dalam lingkup masalah yang ada, maka batas permasalahan yang perlu dibuat, antara lain:

1. Cacat coran yang dianalisis hanya cacat dimensi saja.
2. Pembuatan bilah menggunakan komposisi bahan tembaga dan timah putih 80% Cu – 20% Sn.
3. Cetakan yang dipakai berasal dari batu yang tahan panas dari api.
4. Proses pengecoran menggunakan proses *Open Casting*

## 2. Dasar Teori

### 2.1. Gamelan Berbahan Perunggu

Bahan gamelan umumnya terbuat dari perunggu yang merupakan paduan tembaga (Cu) dan timah putih (Sn) atau juga biasa disebut dengan timah perunggu. Secara umum, perunggu mengacu pada paduan tembaga, timah, aluminium, dan berilium. Selain paduan utama sebelumnya, perunggu biasanya mengandung sejumlah kecil fosfor, timbal, seng atau nikel. Dibandingkan dengan kuningan dan tembaga murni, perunggu merupakan paduan yang mudah meleleh dan memiliki kekuatan yang lebih tinggi. Perunggu juga memiliki kemampuan untuk menahan keausan dan korosi [4].



Gambar 1. Bilah Gamelan Berbahan Perunggu

### 2.2. Proses Pengecoran Tradisional

Proses pembentukan benda kerja dengan menuangkan logam cair ke dalam cetakan pasir (*sand casting*), cetakan pasir ini dapat dijelaskan sebagai rongga yang terbentuk dengan menggoreskan benda-benda berbagai

bentuk menjadi potongan pasir yang besar, kemudian diisi dengan logam cair dengan pemanasan (*Molten Metals*) [5]. Keunggulan dari cetakan pasir yaitu:

1. Dapat mencetak logam dengan titik lebur yang tinggi.
2. Dapat mencetak benda cor dari ukuran kecil sampai dengan ukuran besar.
3. Jumlah produksi dari satu sampai jutaan.

### 2.3. Karakteristik Bahan-Bahan Gamelan

Bahan gamelan yang di pakai dalam penelitian ini adalah perunggu yang paduannya terdiri dari tembaga (Cu) dan timah putih (Sn), yang perbandingannya 8:2. Perunggu merupakan paduan antara Tembaga (Cu) dan Timah (Sn) dalam arti sempit [6]. Tetapi dalam arti luas perunggu berarti paduan Tembaga (Cu), Timah Putih (Sn), Aluminium (Al), Silicon (Si) dan Berilium (Be). Disamping itu paduan utama biasanya mengandung sedikit Fosfor (P), Timah Hitam (Pb), Seng (Zn) atau Nikel (Ni).

Perunggu merupakan paduan yang mudah untuk dicor dan mempunyai kekuatan material yang cukup tinggi, serta mempunyai ketahanan aus tinggi dan tahan korosi. Paduan ini banyak digunakan untuk berbagai komponen mesin, dari bantalan, pegas sampai coran [7].

## 3. Metode penelitian

### 3.1. Rancangan Penelitian

Adapun penelitian ini dilaksanakan menggunakan metode eksperimen yang diuji menggunakan kaidah *Six Sigma* dalam upaya untuk mendapatkan atau menentukan cacat geometri hasil coran. Proses analisis dilakukan menggunakan alat ukur diagram sebab - akibat (*cause and effect diagram*).

### 3.2. Pengumpulan data

Dalam penelitian ini metode yang digunakan untuk mengumpulkan data yaitu: Studi Kepustakaan, Dokumentasi, dan Pengamatan Langsung.

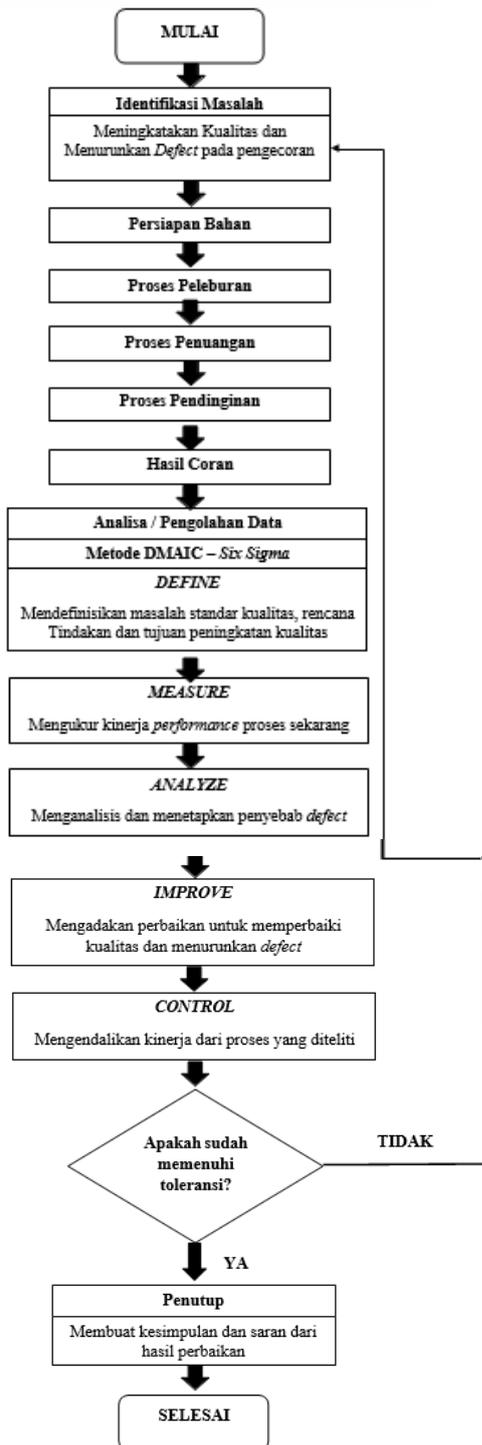
### 3.3. Variabel Penelitian

1. Variabel Dependen
  - A. Cacat hasil coran
  - B. Dimensi material sehabis di cor
2. Variabel Independen
  - A. Paduan perunggu
  - B. Cetakan
  - C. Temperatur Pengecoran
  - D. Waktu penguangan

### 3.4. Alat dan Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan adalah Tembaga (Cu) dan Timah Putih (Sn). Adapun alat-alat yang digunakan selama proses pengecoran antara lain: timbangan, tungku, cetakan coran, *thermocouple*, *stopwatch*, penjepit, jangka sorong.

### 3.5. Diagram alir penelitian



Gambar 2. Diagram alir penelitian

### 3.6. Metode Uji

Hipotesis yang digunakan dalam penelitian ini adalah hipotesis dua arah, yaitu sebagai berikut :

- a.  $H_0 : \mu_1 = \mu_2$  :tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara kualitas bilah

gangsa sebelum dan sesudah di pendekatan *Six sigma*

- b.  $H_A : \mu_1 \neq \mu_2$  :terdapat perbedaan yang signifikan antara kualitas bilah gangsa sebelum dan sesudah di pendekatan *Six sigma*

c. Kriteria Uji :

- Tolak  $H_0$ , Jika Sig. (2-tailed)  $< \frac{1}{2} \alpha$
- Terima  $H_0$ , Jika Sig. (2-tailed)  $> \frac{1}{2} \alpha$

## 4. Analisis Data Dan Pembahasan

### 4.1. Hasil Penelitian

#### 4.1.1. Penerapan Pengendalian Kualitas Produk Gamelan

Penerapan kualitas yang digunakan adalah metode *Six Sigma*, yang melalui lima tahap, yaitu: definisi, pengukuran, analisis, perbaikan dan pengendalian. Analisis hasil penelitian pada produk gamelan Bali sebagai berikut :

#### A. Define

*Define* adalah tahap pendefinisian masalah kualitas produk gamelan Bali, pada tahap ini ditentukan penyebab cacat produk berdasarkan permasalahan yang ada. Langkah-langkah yang dilakukan antara lain :

1. Mengidentifikasi masalah dengan standar kualitas dalam produksi produk gamelan Bali. Empat penyebab paling potensial untuk produksi produk gamelan Bali diidentifikasi sebagai berikut: Posisi Koi, proses penuangan, proses peleburan, komposisi Material.
2. Penentuan suatu tindakan yang harus dilaksanakan sesuai hasil pengamatan dan analisis penelitian, termasuk penempatan dan pengendalian posisi koi yang tepat selama peleburan, pengecoran harus dilakukan dengan cepat, meningkatkan kualitas tenaga kerja, dan suhu leleh yang cepat dan terkontrol.
3. Penetapan tujuan dan sasaran peningkatan kualitas *Six Sigma*. Berdasarkan permasalahan produk cacat akibat letak posisi koi, proses pengecoran, dan proses penuangan dapat menimbulkan kerugian bagi perusahaan.

#### B. Measure

Kontrol kualitas yang dilakukan secara statistik, langkah adalah membuat tabel *check sheet*. *check sheet* dapat membantu menyederhanakan proses pengumpulan dan analisis data.

**Tabel 1. Data Rata-rata Pengukuran Master Cetakan Bilah Gangsa Pak Made**

No	Nama Bilah	Berat Awal	P (cm)	Toleransi	L (cm)	Toleransi	t (cm)	Toleransi
1	Nding	1250	20,8	±0,12*	5,4	±0,08*	1,4	±0,05*
2	Ndang		22,8		5,5		1,3	
3	Ndung		23,6		5,6		1,2	
4	Ndeng		25		5,8		0,9	
5	Ndong		26,8		6		0,8	

**Tabel 2. Persentase Bilah Cacat Pada Gamelan Bali**

	Total Bilah	Total Cacat	Persentase
Sebelum Perbaikan	21	11	$\frac{11}{21} \times 100\% = 52,4\%$
Setelah Perbaikan	20	6	$\frac{6}{20} \times 100\% = 30\%$
Total	41	17	$\frac{17}{41} \times 100\% = 41,4\%$

Dalam tahap *Measure*, pengukuran dibagi menjadi dua tahap, antarlain:

I. Analisis Diagram Kontrol

Adapun langkah-langkah perhitungannya sebagai berikut:

a Menghitung Proporsi Kesalahan (*p*)

- Sebelum Perbaikan

$$p = \frac{11}{21} = 0,524$$

- Setelah Perbaikan

$$p = \frac{np}{n}$$

$$p = \frac{6}{20} = 0,3$$

b Menghitung Mean (CL) atau rata-rata produk akhir

$$CL = \frac{17}{41} = 0,415$$

c Menghitung Standar Deviasi(S)

- Sebelum Perbaikan

$$S = \sqrt{\frac{\sum(0,524-0,415)^2}{20}}$$

$$S = \sqrt{0,00545}$$

$$S = 0,074$$

- Setelah Perbaikan

$$S = \sqrt{\frac{\sum(0,3-0,415)^2}{20}}$$

$$S = \sqrt{-0,00575}$$

$$S = + 0,076 / - 0,076$$

d Menghitung batas kendali atas (UCL)

- Upper Limit Control (UCL)

$$UCL = 0,415 + 3 \sqrt{\frac{0,415(1-0,415)}{41}}$$

$$UCL = 0,415 + 3 \sqrt{\frac{0,415(0,585)}{41}}$$

$$UCL = 0,415 + 3 \sqrt{0,0059}$$

$$UCL = 0,646$$

- Lower Limit Control (LCL)

$$LCL = 0,415 - 3 \sqrt{\frac{0,415(1-0,415)}{41}}$$

$$LCL = 0,415 - 3 \sqrt{\frac{0,415(0,585)}{41}}$$

$$LCL = 0,415 - 3 \sqrt{0,0059}$$

$$LCL = 0,184$$

II. Tahap pengukuran tingkat *Six Sigma* dan *Defect Per Million Opportunities* (DPMO)

Langkah yang digunakan untuk mengukur tingkat *Six Sigma* dari hasil produksi gamelan bali yaitu :

- Menghitung DPU(*Defect Per Unit*)

$$DPU = 17/41 = 0,415$$

- Menghitung DPMO (*Defect Per Million Opportunities*)

$$DPMO = \frac{17}{41} \times 1.000.000$$

$$DPMO = 415.000$$

- Menghitung Interpolasi Tabel Konversi DPMO

$$X = 415.000$$

$$X1 = 412,936$$

$$Y1 = 1,72$$

$$X2 = 416,834$$

$$Y2 = 1,71$$

$$Y = 1,72 + \left( \frac{415.000-412.936}{416.834-412.936} \right) (1,71-1,72)$$

$$Y = 1,72 + \left( \frac{2064}{3898} \right) (-0,01)$$

$$Y = 1,7253$$

- Hasil perhitungan DPMO yang didapat berdasarkan nilai sigma dari tablet konversi interpolasi adalah 1,7523.

C. Analyze

1. Diagram Pareto

Data yang di olah untuk mengetahui persentase jenis product yang ditolak dihitung dengan rumus :

$$\% \text{ Kerusakan} = \frac{5}{17} \times 100\%$$

$$\% \text{ Kerusakan} = 0,294 \%$$

2. Diagram Sebab – Akibat

Adapun faktor-faktor yang menjadi dan mempengaruhi penyebab kerusakan produk gamelan Bali, yaitu: Komposisi Materi Desain cetakan Proses pengecoran dan polanya System peleburan dan penuangan. Untuk mencari penyebab terjadinya cacat tersebut, alat bantu yang digunakan adalah diagram sebab-akibat atau *fishbone* diagram.



**Gambar 3. Diagram Sebab-Akibat Cacat Coran**

D. Improve

Rencana tindakan yang dilakukan untuk melaksanakan peningkatan kualitas Six Sigma, yaitu :

1. Pengukuran
  - Peluang : Menerapkan system pengendalian yang lebih teliti untuk menurunkan jumlah produk cacat.
  - Kerusakan : dari 41 bilah produk yang dihasilkan pada bulan November 2020 sampai dengan Januari 2021 terdapat 17 bilah.
2. Rekomendasi ulasan perbaikan
  - Perbaikan pola pengecoran
  - Perawatan cetakan yang lebih intensif
  - Proses penuangan yang harus dilakukan dengan cepat agar semua cetakan terisi penuh dan menghasilkan cetakan yang tidak kasar
3. Hasil Analisis
  - Pola pengecoran yang masih ada celah dan tidak lancarnya saluran masuk hasil coran kedalam cetakan.
  - Posisi koi yang masih kurang dikontrol yang menyebabkan miringnya koi dan tumpahnya hasil coran.
  - Kurang akuratnya penimbangan bahan material yang ingin dilebur dengan napa yang diinginkan.
4. Tindakan yang dilakukan untuk perbaikan
  - Agar tidak terjadinya cacat yang tidak diinginkan maka suatu pola harus diperhitungkan dan dibuat sebaik mungkin.
  - Untuk mencegah agar posisi setiap koi tidak bergeser, miring, dan tumpahnya hasil coran, maka diperlukan pengontrolan posisi koi agar tetap rata.
  - Campuran beberapa bahan yang akan dilebur terlebih dahulu harus ditimbang sampai mencapai berat yang diinginkan. Untuk alasan ini, timbangan yang digunakan lebih baik diganti dengan timbangan yang mempunyai tingkat presisi yang lebih pasti.
  - Agar cetakan tahan dalam waktu yang lama, maka cetakan harus dirawat secara berkala.
  - Kasarnya suatu permukaan dari hasil coran disebabkan oleh proses penuangan hasil coran yang lambat dan memungkinkan hasil coran yang dituang menjadi dingin, sedangkan bagian atas masih dalam proses pendinginan. Karena itu, diperlukan

banyak perhatian yang diberikan pada proses penuangan.

E. Control

Merupakan tahap analisis akhir dari proyek Six Sigma, di mana tindakan yang diambil dicatat dan disebarluaskan, termasuk dari tindakan yang telah dilakukan meliputi:

- 1) Memperhatikan pola pengecoran sebaik mungkin.
- 2) Pengendalian yang tepat pada posisi koi.
- 3) Pengukuran ulang bahan material pada skala digital yang lebih akurat.
- 4) Perawatan cetakan secara teratur.
- 5) Cepat dan akuratnya proses penuangan hasil coran ke dalam cetakan.

4.1.2. Analisis Hasil

Studi ini menyelidiki efek dari perbedaan dimensi bilah sebelum dan sesudah perbaikan. Uji hipotesis yang digunakan adalah uji t berpasangan. Keputusan Dasar dalam pengambilan uji t adalah :

H0 diterima jika  $t \text{ hitung} < t \text{ table}$

H1 diterima jika  $t \text{ hitung} > t \text{ table}$

Menghitung t table:

$$t_{\text{table}} = t_{\alpha/2} (\text{df})$$

$$= t_{0,05/2} (20-1)$$

$$= t_{0,025} (19)$$

$$= 2,093^*$$

1. Panjang

Tabel 3. Analisa Data Panjang Bilah Gamelan

Bilah (n)	Panjang sebelum (X1)	Panjang sesudah (X2)
1	22,5	22,27
2	22,3	21,85
3	22,02	20,62
4	22,4	20,78
5	21,9	19,52
6	21,3	22,67
7	21,5	22,58
8	22,6	22,82
9	22,8	22,65
10	23,2	19,88
11	22,6	22,83
12	23,5	22,94
13	19,52	24,78
14	22,67	21,75
15	22,58	25,02
16	22,82	23,86
17	25,7	26,68
18	26,8	26,82
19	25,5	26,78
20	26,7	26,75
<b>Total</b>	<b>460,91</b>	<b>463,85</b>
<b>Rata-rata</b>	<b>23,05</b>	<b>23,192</b>

Tabel 4. Statistik Sampel Panjang Berpasangan

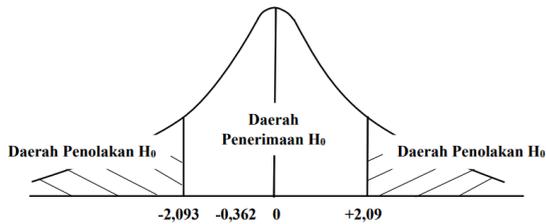
Paired Samples Statistics					
		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Panjang Sebelum	23.0455	20	1.82262	.40755
	Panjang Sesudah	23.1925	20	2.29486	.51315

**Tabel 5. Korelasi Sampel Panjang Berpasangan**

Paired Samples Correlations				
		N	Correlation	Sig.
Pair 1	Panjang Sebelum & Panjang Sesudah	20	.632	.003

**Tabel 6. Uji Sampel Panjang Berpasangan**

Paired Differences									
Pair 1	Panjang Sebelum - Panjang Sesudah	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		T	df	Sig. (2-tailed)
					Lower	Upper			
		-0.14700	1.81697	0.40629	-0.99737	0.70337	-0.362	19	0.721



**Gambar 4. Grafik Daerah Hipotesis Dua Arah Panjang Bilah**

Berdasarkan hasil di atas diperoleh nilai t hitung sebesar -0,362 dan nilai t tabel sebesar 2,093. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa bahwa H0 diterima.

2. Lebar

**Tabel 7. Analisis Data Lebar**

Bilah (n)	Lebar sebelum (X1)	Lebar sesudah (X2)
1	5,5	5,32
2	5,4	4,89
3	4,5	5,37
4	4,2	5,42
5	4,8	4,82
6	5,85	5,39
7	4,3	5,43
8	5,42	5,45
9	5,3	5,38
10	5,2	5,02
11	4,8	5,46
12	5,42	5,53
13	5,83	5,78
14	5,85	6,42
15	5,4	5,73
16	5,8	5,48
17	6,51	6,03
18	6,05	6,05
19	6,32	6,01
20	6,03	6,02
<b>Total</b>	<b>108,48</b>	<b>111</b>
<b>Rata-rata</b>	<b>5,42</b>	<b>5,55</b>

**Tabel 8. Statistik Sampel Lebar**

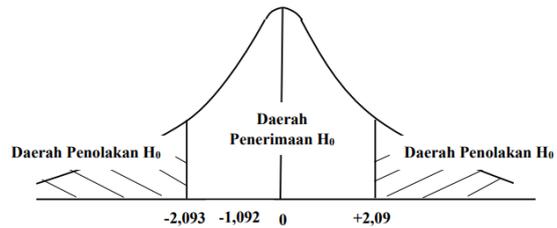
Paired Samples Statistics					
		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Lebar Sebelum	5.4240	20	.64388	.14398
	Lebar Sesudah	5.5500	20	.41033	.09175

**Tabel 9. Korelasi Sampel Lebar Berpasangan**

Paired Samples Test									
Pair 1	Lebar Sebelum - Lebar Sesudah	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		t	df	Sig. (2-tailed)
					Lower	Upper			
		0.12600	0.51615	0.11542	-0.36757	0.11557	-1.092	19	0.289

**Tabel 10. Uji Sampel Lebar Berpasangan**

Paired Samples Correlations				
		N	Correlation	Sig.
Pair 1	Lebar Sebelum & Lebar Sesudah	20	.599	.005



**Gambar 5. Grafik Daerah Hipotesis Dua Arah Lebar Bilah**

Berdasarkan output diatas diketahui nilai t hitung sebesar -1,092 dan nilai t tabel sebesar 2,093. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa bahwa H0 diterima.

3. Tebal

**Tabel 11. Analisa Data Tebal Bilah Gamelan**

Bilah (n)	Tebal sebelum (X1)	Tebal sesudah (X2)
1	2,04	2,45
2	2,08	1,14
3	1,8	1,42
4	1,7	1,41
5	1,88	1,72
6	1,86	1,3
7	1,79	1,34
8	1,35	1,35
9	1,7	1,31
10	1,68	1,82
11	1,53	1,34
12	1,25	1,32
13	0,85	0,89
14	0,92	1,25
15	0,5	0,92
16	0,9	0,78
17	1,52	0,78
18	0,84	0,85
19	1,42	0,82
20	0,78	0,84
<b>Total</b>	<b>28,39</b>	<b>25,05</b>
<b>Rata-rata</b>	<b>5,42</b>	<b>5,55</b>

**Tabel 12. Korelasi Sampel Tebal Berpasangan**

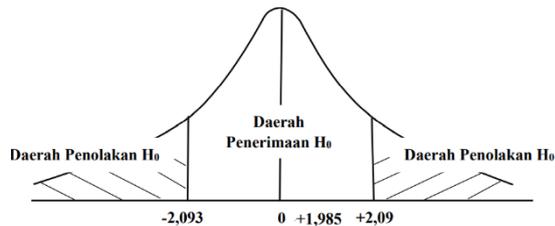
Paired Samples Statistics					
		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Tebal Sebelum	1.4195	20	.47153	.10544
	Tebal Sesudah	1.2525	20	.41567	.09295

**Tabel 13. Korelasi Sampel Tebal Berpasangan**

Paired Samples Correlations				
		N	Correlation	Sig.
Pair 1	Tebal Sebelum & Tebal Sesudah	20	.647	.002

**Tabel 14. Uji Sampel Tebal Berpasangan**

Paired Samples Test									
Paired Differences									
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		t	df	Sig. (2-tailed)
					Lower	Upper			
Pair 1	Tebal Sebelum - Tebal Sesudah	0.16700	0.37623	0.08413	-0.00908	0.34308	1.985	19	0.062



**Gambar 6. Grafik Daerah Hipotesis Dua Arah Tebal Bilah**

Berdasarkan output diatas diketahui nilai t hitung sebesar 1,985 dan nilai t tabel sebesar 2,093. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa H0 diterima.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan data yang telah dianalisis beserta pembahasan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, penulis menarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil kualitas produksi dari pengecoran gamelan tergolong cukup baik, tetapi masih banyak terjadi kegagalan material pada saat proses pengecorannya.
2. Berdasarkan data produksi yang diperoleh dari gamelan Bali diketahui jumlah produksi pada bulan November 2020 – Januari 2021 adalah sebesar 41 bilah dengan jumlah produk cacat yang terjadi dalam produksi sebesar 17 bilah. Berdasarkan perhitungan, gamelan Bali memiliki tingkat *sigma* 1,7253.

## Daftar Pustaka

- [1] Achmad Faizal Muttaqie, 2014, *Analisis Pengurangan Kuantitas Produk Cacat Pada Mesin Decorative Tiles Dengan Metode Six Sigma*, Diponegoro, Semarang.
- [2] IGN. Priambadi, 2016, *Aplikasi Mesin Forging Ergonomi Dalam Upaya Meminimalkan Kegagalan Produk Pada Proses Produksi Gamelan Bali*, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Bali.

- [3] IKG. Sugita, 2016, *Karakteristik Retak dan Kekuatan Hasil Las Pada Retak Gamelan Bali Berbahan Perunggu*, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Bali.
- [4] Indah Dwi Anjayani, 2011, *Analisis Pengendalian Kualitas Produk Dengan Metode Six Sigma Pada CV. Duta Java Tea Industri Adiwerna – Tegal*, Fakultas Ekonomi, Universitas Negeri Semarang, Semarang.
- [5] Komang Ratna Rahayu Mariasa, 2018, *Perbaikan Kualitas Bilah Gangsa Menggunakan Pendekatan Six Sigma Untuk Mengurangi Jumlah Cacat Forging Gamelan Bali*, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Bali
- [6] IGN. Priambadi, 2016, *Aplikasi Mesin Forging Ergonomis Dalam Upaya Meminimalkan Kegagalan Produk Pada Proses Produksi Gamelan Bali*, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Bali.
- [7] Ama Lusiana, 2007, *Analisis Pengendalian Kualitas Produk Dengan Menggunakan Metode Six Sigma Pada PT. Sandang Nusantara Unit Patal Secang*, Fakultas Ekonomi, Universitas Negeri Semarang, Semarang.



**Briyan Marcelo** menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana, Program Studi Teknik Mesin, pada tahun 2021.

Bidang penelitian yang menjadi konsentrasi adalah topik pembahasan rekayasa manufaktur

# Studi Eksperimental Karakteristik Dan Regenerasi Kalsium Klorida Sebagai Material Pada Pengkondisian Udara Adsorpsi

Cut Tasya Yuhna, Made Sucipta, D N K Putra Negara

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

Untuk mendapatkan rasa nyaman dalam suatu ruangan, digunakan sistem air conditioning atau (AC) dengan menggunakan kompresor dan membutuhkan energi listrik dalam jumlah besar sehingga menambah angka pemanasan global dan krisis energi. Merujuk pada hal tersebut, dibutuhkan sistem pendingin ramah lingkungan dan juga hemat energi. Alternatifnya yakni menggunakan material kalsium klorida dalam pengkondisian udara adsorpsi. Dalam sistem tersebut, perubahan suhu dan kadar kelembaban didapat dari proses penyerapan uap air pada udara yang terjadi pada material kalsium klorida dalam packed bed. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menganalisis karakteristik  $\text{CaCl}_2$  dan performanya terhadap kelembaban. Karakteristik yang diuji juga meliputi uji sudut kontak. Hasil yang diperoleh, kinerja  $\text{CaCl}_2$  sangat baik dalam menurunkan kelembaban absolut udara pada ruang uji (dehumidifikasi). Hal ini dapat dilihat pula dari penambahan massa uap air pada  $\text{CaCl}_2$ , namun berpengaruh kecil terhadap penurunan temperatur ruangan. Hanya saja regenerasi  $\text{CaCl}_2$  kurang baik karena material  $\text{CaCl}_2$  cenderung berubah fase.

**Kata Kunci:** Pengkondisian udara adsorpsi, kalsium klorida, karakteristik, regenerasi, dan kelembaban

## Abstract

To get a sense of comfort in a room, an air conditioning or (AC) system is used by using a compressor and requires large amounts of electrical energy, thus increasing the number of global warming and the energy crisis. Referring to this, an environmentally friendly and energy efficient cooling system is needed. The alternative is to use calcium chloride material in adsorption air conditioning. In this system, changes in temperature and humidity levels are obtained from the process of absorption of water vapor in the air that occurs in calcium chloride material in the packed bed. The purpose of this study was to analyze the characteristics of  $\text{CaCl}_2$  and its performance against humidity. The characteristics tested also include the contact angle test. The results obtained, the performance of  $\text{CaCl}_2$  is very good in reducing the absolute humidity of the air in the test chamber (dehumidification). This can also be seen from the addition of water vapor mass in  $\text{CaCl}_2$ , but it has little effect on the decrease in room temperature. It's just that the regeneration of  $\text{CaCl}_2$  is not good because the  $\text{CaCl}_2$  material tends to change phase.

**Keywords:** Adsorption air conditioning, calcium chloride, characteristics, regeneration, and humidity

## 1. Pendahuluan

Sumber daya alam di Indonesia amatlah berlimpah, beberapa diantaranya yaitu minyak bumi, gas alam, batu bara, dan lainnya. Tidak lepas dari itu semua, penggunaan sumber daya alam tersebut menimbulkan dampak yang cukup buruk. Krisis energi dan pemanasan global merupakan contoh dua dampak besar yang sedang kita hadapi saat ini. Salah satu dampak yang cukup besar pada pemanasan global terkait perkembangan teknologi yang sangat pesat ini yaitu penggunaan CFC (*chlorofluorocarbon*) di dalam mesin pendingin. CFC merupakan zat kimia yang didalamnya terkandung klorin (*chlorine*), fluorin (*fluorine*), dan yang terakhir karbon (*carbon*). CFC memberikan dampak yang buruk karena sifatnya yang dapat merusak lapisan ozon. CFC akan terurai ketika sampai pada stratosfer karena intensitas dari sinar ultraviolet matahari, kemudian melepaskan atom klorin (Cl). Satu atom klorin mampu memecahkan

ribuan ozon, sehingga lapisan ozon pun menjadi semakin tipis [1].

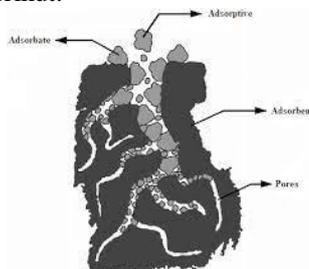
60% listrik hotel yang berada di kota Bandung dikonsumsi untuk menyuplai energi pada mesin pengkondisian udara [2]. Untuk meminimalisir dampak negatif tersebut, dapat dilaksanakan pengembangan sistem pengkondisian udara dengan cara adsorpsi [3]. Sistem adsorpsi merupakan sistem penyerapan secara fisika dengan pasangan adsorben dan adsorbat. Sistem adsorpsi memiliki kelebihan dibandingkan sistem pengkondisian udara lainnya yaitu menggunakan energi matahari maupun panas dari mesin, sehingga energi panas yang sudah terbuang bisa diolah kembali dan refrigeran yang dipakai memiliki sifat *non-GWP* dan *non-ODS* [4]. Adsorben yang digunakan dalam penelitian ini merupakan *Calcium chloride*.  $\text{CaCl}_2$  merupakan senyawa ionik dimana terdiri atas dua unsur, yakni kalsium dan klorin [5].

Untuk mengetahui lebih lanjut perihal sifat dan strukturnya, telah dilakukan penelitian dengan variasi

waktu dan temperatur saat pemanasan. Durasi waktu pemanasan yang pertama yakni 10 menit, 5 menit, dan 2.5 menit dengan oven pada temperatur 120°C. Selanjutnya dengan variasi temperatur pemanasan pada 100°C dengan kurun waktu 1 menit dan 0.5 menit. Percobaan terakhir dilakukan dengan cara memanaskan CaCl<sub>2</sub> menggunakan *hairdryer* pada temperatur 57°C selama 30 menit

## 2. Dasar Teori

Adsorpsi merupakan sebuah proses adsorben (fluida) dan juga adsorbat (padatan) melepaskan panas, dan terjadi pengurangan pergerakan dari molekul adsorbat dimana menyebabkan adsorbat menempel di permukaan adsorben sehingga terbentuk lapisan tipis [6]. Untuk mengetahui proses yang ada pada adsorpsi, diilustrasikan seperti Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Adsorpsi

(<http://www.lontar.ui.ac.id/file?file=digital/125655-R020868-Pengujian%20alat-Literatur.pdf>)

Adsorben bisa diartikan sebagai suatu zat padat dimana memiliki kemampuan daya serap akan komponen tertentu dari fasa fluida [7]. Adsorben merupakan material ataupun zat yang memiliki keahlian untuk menggabungkan dan mempertahankan suatu cairan maupun gas yang berada di dalamnya [8]. Secara umum terdapat dua jenis adsorben, yakni adsorben polar dan nonpolar [9].

- Adsorben polar atau *hydrophilic*, contohnya seperti silica gel, active alumina, zeolit, kalsium klorida. Dimana air sebagai adsorbatnya.
- Adsorben non-polar atau disebut *hydrophobic*, seperti karbon aktif dan juga adsorben polimer. Oli atau gas sebagai adsorbatnya.

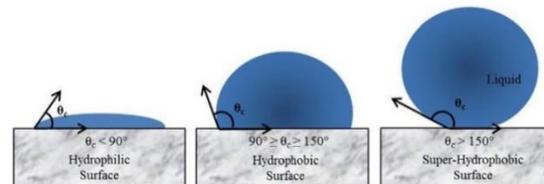
*Calcium Chloride* (CaCl<sub>2</sub>) merupakan senyawa ionik dimana terdiri atas dua unsur, yakni kalsium dan klorin [10]. *Calcium Chloride* merupakan garam berwarna putih yang memiliki sifat higroskopis terhadap air. Higroskopis merupakan kemampuan sebuah zat dalam menyerap molekul air dari lingkungannya, dengan cara adsorpsi. Sebuah zat dapat disebut sebagai *higroskopis* jika memiliki daya serap yang baik terhadap molekul air [11]. *Calcium Chloride* mempunyai beberapa manfaat, sebagai zat

pencair es (*de-icing*), zat pengering (*dessicant*), serta sebagai zat aditif pada industri makanan, dan kegunaan lainnya [12]. Gambar 2 merupakan material CaCl<sub>2</sub> yang digunakan dalam penelitian.



Gambar 2. Kalsium Klorida

Sudut kontak adalah sudut yang terbentuk antara bidang datar material uji dan permukaan cairan yang ditetaskan pada material uji. Dari pengamatan sudut kontak dapat diketahui permukaan bersifat *hydrophobic* atau bersifat *hydrophilic*. Suatu bahan dapat disebut mempunyai sifat hidrofobik jika air sulit mengalir pada permukaannya, dan disebut hidrofilik jika air dengan mudah mengalir pada permukaan tersebut [13]. Gambar 3 merupakan ilustrasi gambarnya.



Gambar 3. Sudut kontak (douglas, 2013)

## 3. Metode Penelitian

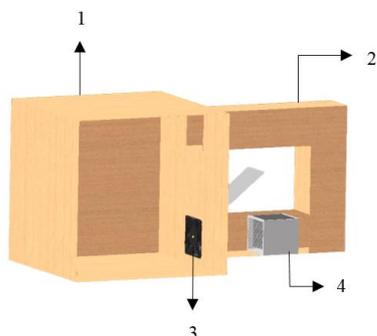
Alat dan bahan yang dipergunakan dalam pengujian pengkondisian udara ini, yaitu:

- Alat uji pengkondisian udara
- Oven listrik
- Timbangan digital
- Thermometer ruangan
- Higrometer
- Inclined Manometer
- Packed Bed
- Stopwatch
- Kalsium Klorida (CaCl<sub>2</sub>)

Pengujian akan dilakukan beberapa tahap pengujian yaitu proses pengeringan, pengujian *proximate*, uji sudut kontak, regenerasi. Masing-masing tahap diatas mempunyai prosedur pengujian tersendiri.

Pada tahap ini, material uji yang berupa CaCl<sub>2</sub> yang sudah di dapatkan dari pasar komersial. Material tersebut diuji regenerasi dan kemampuannya dalam menyerap kelembaban hingga mencapai kondisi jenuh pada ruang uji dengan sirkulasi udara

melalui tumpukan (*packed bed*) yang telah disiapkan.. Kondisi jenuh tersebut ditandai oleh tidak adanya lagi pertambahan massa. Hal ini dikarenakan massa air yang diserap tidak lagi bertambah. Ruang uji yang dipergunakan pada penelitian dapat diamati pada Gambar 4.



Gambar 4. Ruang Uji

keterangan:

1. Model ruang uji dirancang menggunakan bahan dasar triplek yang berukuran 50cm x 50cm
2. Saluran berukuran 50cm x 8cm
3. Kipas komputer berukuran 8cm x 8cm
4. Wadah material uji (*packed bed*)

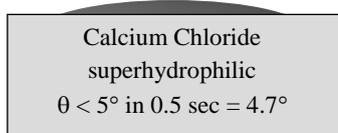
Urutan proses sebagai berikut:

1. Pemanasan.  
Saat sebelum dilakukan pengujian, seluruh material uji dikeringkan terlebih dahulu agar uap air yang berada pada material hilang sebelum dimasukkan pada ruang uji. Proses tersebut dilakukan dengan memanaskannya dalam oven pada suhu dan waktu yang divariasikan
2. Pengukuran.  
Mengukur massa material uji. yang diperlukan
3. Pengujian.  
Material tersebut diuji kemampuan dalam menyerap kelembaban udara selama 2 jam untuk model ruang uji yang dibuat. Material diuji sebanyak 7 kali secara berulang mulai dari pemanasan untuk mengetahui regenerasinya. Untuk hasil akhir dilihat dan diukur temperatur dan kelembaban dari model ruang uji tersebut.

#### 4. Hasil dan Pembahasan

##### 4.1. Hasil uji Sudut Kontak

Hasil besarnya sudut kontak suatu permukaan bahan terhadap tetesan cairan diperoleh berdasarkan pengamatan langsung dengan cara pemotretan kamera digital.



Gambar 5. Sudut kontak pada CaCl<sub>2</sub>

Hasil pemotretan kemudian diolah menggunakan aplikasi software yakni *Image J* untuk menentukan sudutnya agar lebih akurat. Gambar 5 memperlihatkan hasil uji sudut kontak dari material kalsium klorida.

Pada Gambar 5 tersebut menunjukkan bahwa kalsium klorida memiliki sifat *superhydrophilic* atau air dengan sangat mudah dapat mengalir pada permukaan material tersebut karena nilai sudut kontak yang sangat kecil yaitu 4.7°. dapat juga kita perhatikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Sudut Kontak CaCl<sub>2</sub>

Material	Sudut Kontak (°)	Cosθ
Calcium Chloride (CaCl <sub>2</sub> )	4.7°	0.996

##### 4.2. Hasil Penelitian

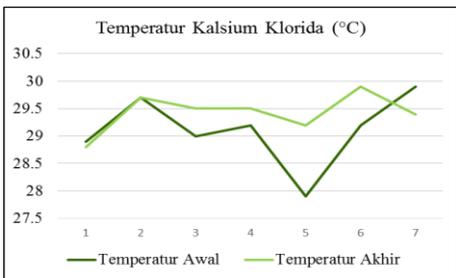
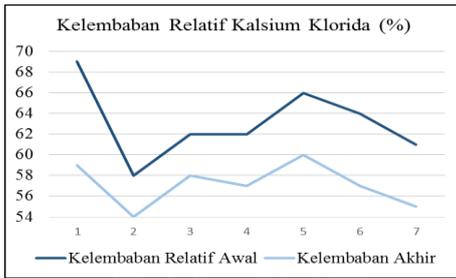
Pada Tabel 2 berikut, dapat kita lihat perubahan temperatur, kelembaban, dan massa dari kalsium klorida sebelum dan setelah dilakukannya regenerasi secara berulang selama 7 kali dengan variasi waktu dan temperatur pemanasan yang sudah ditentukan

Tabel 2. Hasil Uji CaCl<sub>2</sub> pada Pengkondisian Udara

Jenis Material	Pengujian		Temperatur (°C)		Kelembaban Relatif (%)		Massa Material (g)		Tekanan		
	Waktu	Temp	Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir	
Kalsium Klorida (CaCl <sub>2</sub> )	1	30 menit	120°C	28.9	28.8	69	59	199.6	208.8	2.2 cmHg	2.2 cmHg
	2	10 menit		29.7	29.7	58	54	200.5	207.7	2.2 cmHg	2.2 cmHg
	3	5 menit		29	29.5	62	58	201.7	206.8	2.2 cmHg	2.2 cmHg
	4	2.5 menit		29.2	29.5	62	57	198.7	205.8	2.2 cmHg	2.2 cmHg
	5	1 menit	100°C	27.9	29.2	66	60	200.6	207.9	2.2 cmHg	2.2 cmHg
				29.2	29.9	64	57	200.4	207.2	2.2 cmHg	2.2 cmHg
	7	30 menit	57°C	29.9	29.4	61	55	200.2	207.2	2.2 cmHg	2.2 cmHg
Rata-rata			29.1	29.4	63.1	57.1	200.2	207.3	2.2 cmHg		

Berdasarkan hasil uji pada Tabel 2, kalsium klorida cukup memberikan pengaruh yang besar terhadap pengkondisian udara dan didapatkan data regenerasi yang tidak jauh berbeda antara variasi waktu dan temperatur satu sama lain dalam penurunan kelembaban. CaCl<sub>2</sub> dapat menyerap kelembaban dengan rata-rata keseluruhan sebesar 9.5% atau dari 63.1% menjadi 57.1%. Dari kelembaban tersebutpun mengarah pada massa dari kalsium klorida yang bertambah sebanyak 7.12 gram.

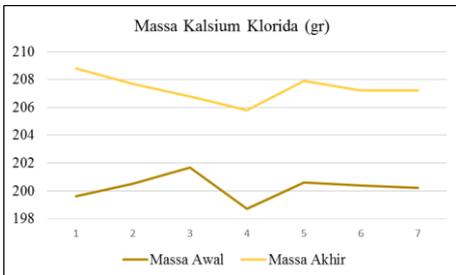
Hasil data uji yang telah dipaparkan dapat kita amati dengan grafik, dimana terjadi naik turun temperatur dan kelembaban dari 1 hingga 9 kali regenerasi. Jika dicermati secara teliti pada Gambar 6, memperlihatkan titik terendah kelembaban yang dihasilkan dari kalsium klorida yakni 54%. Dimana memberikan penurunan yang cukup signifikan. Itu terjadi karena kalsium klorida memiliki nilai sudut kontak yang sangat kecil yang berarti memiliki sifat *superhydrophilic*, dimana air dengan mudah terserap pada fisik CaCl<sub>2</sub>.



(b) Grafik temperatur

Gambar 6. Grafik perubahan kelembaban dan temperatur CaCl<sub>2</sub>

Pada Gambar 7 juga memperlihatkan bahwa massa uap air yang diserap oleh kalsium klorida cukup banyak, karena diiringi dengan pertambahan massa yang terjadi pada kalsium klorida yakni sebesar 7.1 gram, dari 200.2 menjadi 207.3 gram.



Gambar 7. Grafik pertambahan massa CaCl<sub>2</sub>

Merujuk pada variasi pengujian regenerasi yang sudah dilakukan, didapatkan bentuk fisik yang berbeda dari CaCl<sub>2</sub>. Walaupun daya serap kalsium klorida baik namun karakteristik regenerasinya kurang baik. Bentuk fisik dari kalsium klorida berubah menjadi mencair dan melebur. Ini berhubungan dan disebabkan pula karena material kalsium klorida memiliki sifat *superhydrophilic* yang dimana memiliki arti air mudah teradsorpsi pada permukaannya.

Saat uji sudut kontak dan air ditetaskan kemudian jatuh pada permukaan kalsium klorida, air tersebut langsung diadsorpsi oleh material tersebut dan secara fisik tidak ada yang tersisa pada permukaan kalsium klorida. Sehingga keseluruhan fisik kalsium klorida menjadi basah dan mudah mencair. Berikut merupakan gambar hasil uji kalsium

klorida setelah setiap 2 jam pengujian dari Gambar 8 hingga 14.



Gambar 8. Hasil Uji 30 menit 120°



Gambar 9. Hasil Uji 10 menit 120°



Gambar 10. Hasil Uji 5 menit 120°



Gambar 11. Hasil Uji 2.5 menit 120°



Gambar 12. Hasil Uji 1 menit 100°



Gambar 13. Hasil Uji 0.5 menit 100°



Gambar 14. Hasil Uji 30 menit 57°

## 5. Kesimpulan

Merujuk hasil pengujian dan penelitian yang sudah dilakukan tentang kalsium klorida, didapat kesimpulan:

1. Kalsium klorida memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap pengkondisian udara.  $\text{CaCl}_2$  memiliki kemampuan yang baik dalam penerunan kelembaban absolut udara pada ruang uji atau dehumidifikasi yakni sebesar 9.5 % diiringi dengan penambahan massa yang lebih besar, namun tidak berpengaruh terhadap penurunan temperatur ruangan.
2. Kalsium klorida memiliki karakteristik regenerasi yang kurang baik. Setiap kali uji regenerasi selesai, bentuk fisiknya berubah mencair dan melebur sehubungan dengan nilai sudut kontak yang dimilikinya yaitu  $4.7^\circ$ . Sehingga material tersebut tidak dapat digunakan secara berulang, dan harus diganti setiap kali melakukan pengujian.

## Daftar Pustaka

- [1] Cahyono, E., 2005, *Pengaruh Penipisan Ozon terhadap Kesehatan Manusia. Pusat Pemanfaatan Sains Atmosfer dan Iklim*. Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), Bandung
- [2] Berman, E. T., 2012, *Pengaruh Penggunaan Suction Liquid Heat Exchanger dan Tube in Tube Heat Exchanger Pada Refrigerator Terhadap Daya Kompresor dan Waktu Pendinginan*, Jurnal Energi Dan Manufaktur, Vol.5, No.1.
- [3] Hariyono, H., & Martin, A. *Rancang Bangun Sistem Pendingin Adsorpsi dengan Pasangan Karbon Aktif-Metanol sebagai Adsorben-Adsorbat*, Doctoral dissertation, Riau Universit..
- [4] Hintingo, I., & Martin, A. 2014, *Unjuk Kerja Sistem Pendingin Adsorpsi dengan Pasangan Karbon Aktif-Metanol sebagai Adsorben-Adsorbat.* Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau, vol. 1, no. 2, pp. 1-15.
- [5] Nopi, M., 2012, *Studi Eksperimental Pendingin Adsorpsi Amonia- $\text{CaCl}_2$  Energi Surya Menggunakan Perbandingan Amonia- $\text{CaCl}_2$  0,6*. Skripsi Sarjana Program Studi

Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma.

- [6] Hariyono, H., & Martin, A. *Rancang Bangun Sistem Pendingin Adsorpsi dengan Pasangan Karbon Aktif-Metanol sebagai Adsorben-Adsorbat*, Doctoral dissertation, Riau University.
- [7] Arfan, Y., 2006, *Pembuatan Karbon Aktif Berbahan dasar Batubara Dengan Perlakuan Aktivasi Terkontrol Serta Uji Kinerjanya*, Depok, Departemen Teknik kimia FT-UI.
- [8] Suryawan, B., 2004, *Karakteristik Zeolit Indonesia sebagai Adsorben Uap Air*, Disertasi, Universitas Indonesia, Jakarta.
- [9] Saragih, 2008, *Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif dari Batubara Riau Sebagai Adsorben*, Tesis, Pascasarjana Universitas Indonesia, Jakarta.
- [10] Nopi, M., 2012, *Studi Eksperimental Pendingin Adsorpsi Amonia- $\text{CaCl}_2$  Energi Surya Menggunakan Perbandingan Amonia- $\text{CaCl}_2$  0,6*, Skripsi Sarjana Program Studi Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma.
- [11] Puja, I. G.K., Sambada, FA. R., 2012, *Studi Eksperimental Pendingin Adsorpsi Amonia- $\text{CaCl}_2$  Energi Surya*. In Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XI (SNTTM XI) & Thermofluid IV. Universitas Gadjah Mada (UGM), Yogyakarta
- [12] Utomo, R.K., Maswiarso, A., 2019, *Pra rancangan pabrik kimia kalsium klorida dari asam klorida dan batuan kapur dengan kapasitas 10.000 ton/tahun*, Skripsi. Yogyakarta, Universitas Islam Indonesia.
- [13] Samsurizal S, 2018, *Studi Sifat Transfer Hidrofobik Dari Bahan Isolator Polimer Silicone Rubber Akibat Pengaruh Cuaca Didaerah Tropis Perkotaan*, Setrum, Sistem Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer, 7(2), 288-295.

	<p><b>Cut Tasya Yuhna</b> menyelesaikan pendidikan S1 di Universitas Udayana, Program Studi Teknik Mesin, Tahun 2021.</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan termodinamika dan refrigerasi.</p>	

# Pengaruh Putaran Mesin Terhadap Produksi Bio-Oil Bungkil Kemiri Sunan Menggunakan Reaktor Rotary Pirolisis

Yosua William Luhulima, I N. Suprpta Winaya, dan I G.N.P. Tenaya  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

Seiring berjalannya waktu dan kemajuan teknologi, kebutuhan akan energi semakin melonjak tinggi sampai tak terkendali, 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 dimana dalam bungkil kemiri sunan ini masih memiliki kandungan minyak yang tidak dapat dikeluarkan melalui proses tekan/press tersebut. Salah satu cara untuk mengeluarkan minyak ini adalah dengan menggunakan proses pirolisis. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui pengaruh putaran mesin terhadap massa minyak bio-oil (kondensat) melalui pirolisis rotary menggunakan material pasir besi. Melalui variasi putaran ini diharapkan agar massa kondensat yang dihasilkan akan semakin meningkat seiring dengan peningkatan putaran yang diberikan dan diharapkan pada pencampuran bahan bakar dengan bed material akan menghasilkan pemanasan yang lebih merata sehingga menghasilkan kondensat yang lebih banyak. Variasi yang digunakan adalah variasi putaran. Pada variasi putaran dilakukan pengoperasian yaitu 1600 rpm, 1800 rpm, 2000 rpm dan 2400 rpm. Kesimpulan hasil pengujian adalah hasil pirolisis dari putaran 2400 rpm lebih baik dan lebih efisien dibandingkan dengan putaran lainnya. Hal ini dikarenakan proses pemanasan yang lebih merata dapat membuat hasil gas menjadi lebih banyak sehingga kondensat yang dihasilkan menjadi meningkat serta arang yang dihasilkan juga menjadi lebih sedikit dan waktu yang dibutuhkan dalam proses menjadi lebih singkat.

Kata kunci: Putaran, pirolisis rotari, minyak bio-oil (kondensat)

## Abstract

As time goes by and as technology advances, the need for energy is increasing out of control, as a result 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 form of kemiri sunan cake, which still contains oil that cannot be further removed through the pressing process. One way to get this oil out is through the pyrolysis process. This study aims to determine the effect of rotation on the mass of bio-oil (condensate) through rotary pyrolysis using iron sand. Through this rotation variation it is expected that the resulting condensate mass will increase along with increase in rotation given and it is hoped that mixing the fuel with the bed material will produce a more even heating so that it produces more condensate. The variation used is rotation variation. At rotation variation, the reactor operation is carried out, namely at 1600rpm, 1800rpm, 2000rpm and 2400rpm. The conclusion from the test results data is that the pyrolysis results at 2400 rpm is better and more efficient than at other rotations. This is because a more even heating process can make the gas yield more abundant so that the resulting condensate increases and the charcoal produced is also reduced and the time needed in the process is shorter.

Keywords: Rotations, rotary pyrolysis, bio-oil (condensate)

## 1. Pendahuluan

Bahan bakar fosil memiliki sifat dan menjadi sumber utama yaitu tidak dapat terbarukan sehingga ketersediaannya akan semakin berkurang [1]. Pengembangan dalam mekanisme pembentukan minyak untuk menghasilkan pengganti bahan bakar fosil. Ketidakseimbangan antara pertumbuhan jumlah penduduk dan kemajuan teknologi yang mempengaruhi kebutuhan energi dengan ketersediaannya menjadi penyebab utama pengembangan bio-oil harus dilakukan [2].

Pengembangan bahan bakar biodiesel menjadi salah satu cara paling efektif. Biodiesel bisa dipergunakan sebagai pengganti bahan bakar diesel serta dapat digunakan pada motor diesel tanpa adanya banyak modifikasi, mengurangi emisi bahan bakar, mudah digunakan, dan dapat diperbaharui [3].

Kemiri sunan (*Reutealis trisperma* (Blanco) Airy Shaw) ialah tumbuhan yg mempunyai potensial menjadi penghasil bioenergi. Biji kemiri sunan diolah dengan cara pengepresan dan dapat menghasilkan dua produk yaitu minyak dan bungkil/ampas. Minyak yang dihasilkan dari hasil pengepresan diolah kembali sampai menjadi biodiesel, sedangkan untuk bungkil/ampas digunakan sebagai bahan dasar pembuatan pupuk [4]. Limbah bungkil kemiri sunan setelah melalui proses pengepresan sampai saat ini baru dimanfaatkan menjadi briket sebagai bahan bakar dan arang aktif [5]. Pada dasarnya bungkil kemiri sunan masih mengandung minyak, akan tetapi proses mekanis tidak mampu untuk mengekstraksinya, maka dari itu digunakannya proses pirolisis dan menghasilkan bio-oil dan ditingkatkan menjadi biodiesel.

Pirolisis adalah dekomposisi termokimia biomassa melalui proses pemanasan tanpa oksigen, dimana ikatan molekul hidrokarbon akan terbagi menjadi molekul yang lebih kecil dalam bentuk gas, cair, dan arang. Karakteristik pirolisis menunjukkan tiga hal yaitu massa, laju penurunan dan temperatur. Pirolisis biomassa umumnya berlangsung pada kisaran temperatur dari 300 °C sampai dengan 650 °C [6]. Penelitian tentang pirolisis kulit durian menghasilkan bio-oil sebesar 57,45 wt% pada temperatur 650°C dengan ukuran partikel 1-2 mm dimana fraksi bio-oil meningkat terhadap temperatur, sedangkan pengaruh ukuran partikel tidak signifikan [7]. Jenis pirolisis yang digunakan adalah Pyrolysis Fixed Bed (PFB) yang beroperasi dalam mode batch dengan penambahan atau tanpa bed material. Pengoperasiannya sederhana dan bisa dibuat dalam ukuran kecil dengan biaya rendah, yang merupakan salah satu keunggulannya. Inilah sebabnya sejumlah besar reaktor PFB skala kecil banyak digunakan di seluruh dunia untuk menghasilkan produk bio-oil [8].

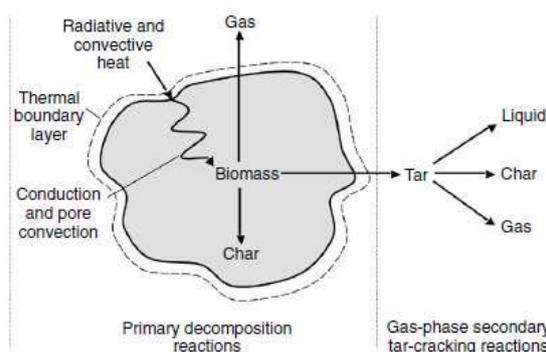
Performansi proses pirolisis bisa dipengaruhi oleh temperature, bed material dan rotary reactor. Dengan demikian permasalahan yg bisa dikaji pada penelitian ini adalah bagaimana imbas putaran terhadap produksi bio-oil bungkil kemiri sunan memakai reaktor pirolisis *rotary*. Jenis pirolisis yang dapat dipilih adalah (*Pyrolysis Rotary Bed*) PRB dimana dalam prosesnya ditambahkan bed material.

Beberapa batasan yang ditetapkan dalam penelitian kali ini meliputi biomassa yang digunakan merupakan bungkil atau ampas dari kemiri sunan, temperatur yang digunakan sebesar 450°C, dan parameter karakteristik bio-oil/kondensat yang di uji pada penelitian ini adalah density, flash point, fire point, pH.

## 2. Dasar Teori

### 2.1. Pirolisis

Pirolisis adalah penguraian termal bahan tanpa kehadiran oksigen atau oksigen secara signifikan jumlahnya kurang dari yang diperlukan untuk pembakaran sempurna [9]. Menurut Basu (2013) dipandang dari sudut termal, kita bisa membagi proses pirolisis menjadi empat tahapan [10] yaitu pengeringan (~100°C), dengan tujuan menurunkan kelembaban dan melepaskan kandungan air yang terikat longgar, tahap awal (100-200 °C) terjadi proses *Torrefaction*, selanjutnya tahap menengah (>200°C), Sebagian besar uap atau bio-oil diproduksi pada tahap ini, lalu tahap akhir (~300-900°C), Tahap akhir pirolisis terjadi peretakan (terurai) volatil sekunder menjadi char dan gas yang tidak terkondensasi.



Gambar 1. Proses pirolisis yang terjadi pada partikel Biomassa, Basu (2013)

### 2.2 Biomassa

Biomassa adalah bahan yang diperoleh dari tumbuhan atau tumbuhan dengan secara langsung atau tidak eksklusif. Biomassa memiliki manfaat sebagai energi atau bahan bakar. Berbanding terbalik dengan bahan bakar fosil biomassa memiliki sifat dapat dapat terbarukan karena merupakan sumber daya terbarui [11]. Energi biomassa akan memberikan solusi yang efektif untuk kebutuhan energi secara keseluruhan, dikarenakan bahan bakar fosil akan mengalami peningkatan harga dalam beberapa dekade kedepan. Sebab mempunyai sifat menjadi sumber daya yang tidak terbatas serta terbarukan, sumber daya biomassa dapat digunakan berulang kali serta berbanding terbalik dengan sumber daya fosil yang secara prinsip bersifat terbatas serta hanya untuk sementara.

biomassa memiliki kandungan utama berupa oksigen (O), karbon (C), dan hydrogen (H).  $C_xH_yO_z$  mewakili rumus kimia dari biomassa, Untuk nilai koefisien dari x, y, dan z tergantung dari jenis biomassa [12]. Produk biomassa yang dihasilkan dari proses pirolisis Biogas ( $CH_4$ ,  $CO_2$ ), syngas ( $CH_4$ ,  $CO_2$ ,  $H_2$ ), producer gas ( $CH_4$ ,  $CO_2$ ,  $H_2$ ), substitute natural gas, Ethanol, pyrolysis oil, biodiesel, metanol, vegetable oil, Arang dan briket.

### 2.3 Kemiri Sunan

Tanaman kemiri sunan (*Reutealis trisperma* (Blanco) Airy Shaw) menyebar di berbagai tempat di Indonesia. Pembudidayaan tanaman kemiri sunan sebagai minyak pengawet kayu untuk memenuhi ekspor kayu cina dilakukan pada sekitar abad ke-18 oleh pedagang cina di daerah cilongok dan karawaci (tangerang) [13]. Kemiri jenis ini memiliki komposisi kulit buah 62-68%, kulit biji 11-16% dan biji 16-27%. Minyak kasar dengan rendemen 45-50% terkandung pada biji/kernel.



Gambar 2. (a) Buah kemiri sunan, (b) kulit buah, (c) biji, dan (d) daging biji/kernel.

## 2.4 Analisa Hasil

### 1. Fuel Conversion Rate (FCR)

Fuel Conversion Rate (FCR) merupakan konsumsi bahan bakar yang bisa diketahui melalui massa bahan bakar yang digunakan dibagi dengan saat operasional tungku. Konsumsi bahan bakar dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$FCR = \frac{\text{massa bahan bakar yang digunakan (kg/jam)}}{\text{waktu operasional}} \quad (1)$$

### 2.3. Kestimbangan Massa (Mass Balance)

Perhitungan kesetimbangan massa bertujuan untuk mengetahui jumlah massa yang masuk dan masa yang keluar yang termasuk didalamnya massa cairan, massa gas, dan massa arang. Pada perhitungannya kesetimbangan massa dibagi dalam variasi I-V. Kesetimbangan massa dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\begin{aligned} \sum m &= 0 \\ m_{in} &= m_{out} \\ m_{in} &= m_{arang} + m_{kondensat} + m_{gas} \end{aligned} \quad (2)$$

### 2.4. Massa Jenis (Density)

Perhitungan massa jenis pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya massa dalam setiap volumenya. Semakin tinggi massa jenis dari minyak kondensat yang dihasilkan maka akan semakin sulit juga proses pembakaran terjadi. Massa jenis dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\text{Densitas} = \frac{\text{massa kondensat}}{\text{volume kondensat}} \quad (\text{kg/m}^3) \quad (3)$$

### 2.5 Pasir Besi

Pasir besi memiliki kandungan besi yang banyak dan terdapat di sepanjang pantai dan pegunungan di Sumatera, Jawa dan Bali, Sulawesi, Nusa Tenggara Timur, Maluku dan pantai Utara Papua.



Gambar 3. Pasir Besi

Mempertimbangkan keberadaan pasir besi yang melimpah di Indonesia serta potensinya sebagai bed material pada pirolisis biomassa. Berlandaskan

studi literatur yang telah dilakukan diperlukan pembelajaran lebih dalam khususnya pada pirolisis biomassa dalam penelitian ini.

## 3. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini membutuhkan beberapa alat dan bahan sebagai berikut:

### 3.1 Alat

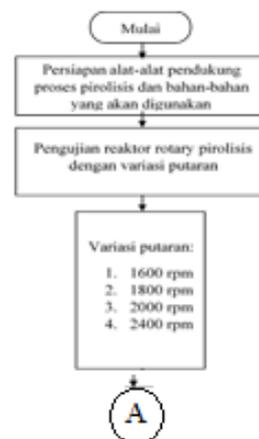
1. Reaktor rotary pirolisis sebagai tempat terjadinya proses pirolisis serta pemanasan bahan bakar biomassa kemiri sunan.
2. Thermocouple berfungsi mengukur suhu distribusi temperatur dari reaktor.
3. Kondensor berfungsi sebagai pendinginan untuk merubah senyawa gas hasil pemanasan dari reaktor berubah menjadi liquid/minyak kondensat.
4. Pompa air digunakan sebagai media untuk mengalirkan air asal bak penampung ke kondensor dengan bersirkulasi untuk menyerap panas.
5. Gas Analyzer berfungsi untuk merekam/mengukur gas yang dihasilkan dari proses pirolisis.
6. Timbangan berfungsi untuk mengukur massa dari biomassa kemiri sunan, bed pasir besi, dan untuk mengukur massa dari hasil minyak kondensat.
7. Dinamo berfungsi untuk memutar saat terjadinya pirolisis dan tersambung pada poros reaktor.

### 3.2 Bahan

Penelitian ini memerlukan bahan-bahan sebagai berikut:

1. Biomassa kemiri sunan pada bagian ampas kernel.
2. Bed Material, Bahan yang digunakan sebagai bed material merupakan bahan alam. Sedangkan pasir besi merupakan bahan berupa biji pasir yang diambil dari penambangan pasir atau galian C yang ada di daerah Kintamani, Kabupaten Bangli - Bali, tepatnya di kaki Gunung Batur.

### 3.3 Diagram Alir Penelitian

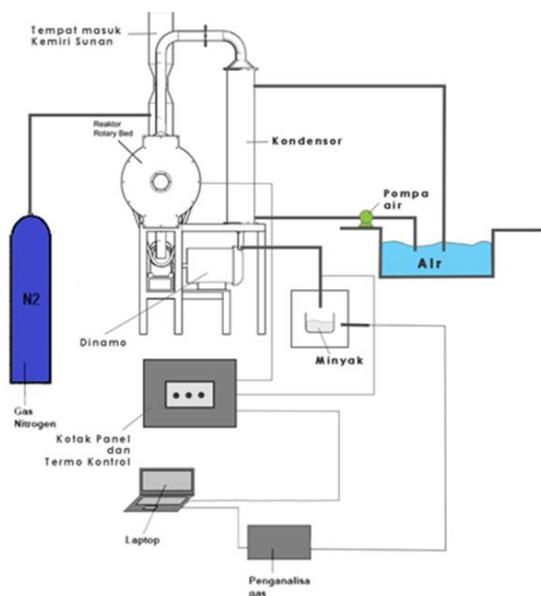




Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

### 3.4 Metode Uji

Dalam pengujian ini dilakukan proses pirolisis dengan memberikan variasi putaran sebesar 1600 rpm, 1800 rpm, 2000 rpm, dan 2400 rpm pada mesin atau alat pirolisis yang ditunjukkan pada gambar 5. minyak kondensat yang dihasilkan dari proses pirolisis dari setiap variasi putaran di tampung pada tabung kaca dan diuji karakteristiknya di laboratorium.



Gambar 5. Skema alat reactor rotary pirolisi

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1 Hasil Pengujian

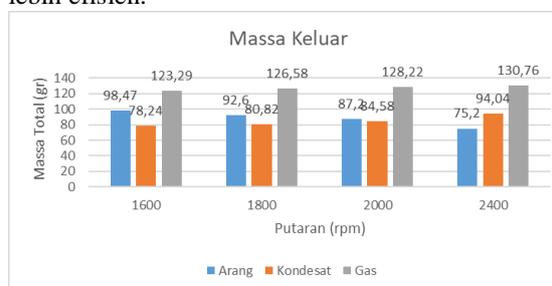
Variasi putaran yang diberikan sebesar 1600 rpm, 1800 rpm, 2000 rpm, dan 2400 rpm pada mesin atau alat pirolisis dengan massa input bahan bakar yang sama menghasilkan perbedaan pada nilai durasi operasional, massa kondensat dan massa arang.

Tabel 1. Hasil Penelitian Pirolisis Rotary Pada Bugkil Kemiri Sunan.

Variasi Putaran (rpm)	Massa Input Bahan Bakar (g)	Durasi Operasional (s)	Massa Kondensat (g)	Massa Arang (g)
1600	300	450	78.24	98.47
1800	300	410	80.82	92.6
2000	300	380	84.58	87.2
2400	300	250	94.04	75.2

### 4.2 Massa Keluar

Variasi putaran mesin yang diberikan mempengaruhi massa arang, kondensat, dan gas yang dihasilkan. Dimana semakin banyak kondensat yang dihasilkan maka menunjukkan bahwasannya putaran mesin yang lebih besar memiliki hasil yang lebih efisien.



Gambar 6. Diagram massa keluar

Pada gambar 6 menunjukkan nilai massa arang tertinggi terdapat pada putaran 1600 rpm yaitu 98.47 gram. pada putaran 2400 rpm menghasilkan arang yang lebih rendah dikarenakan proses pemanasan yang lebih merata sehingga membuat proses dekomposisi menjadi lebih baik dan menghasilkan arang yang lebih sedikit. Nilai massa minyak kondensat tertinggi terdapat pada putaran 2400 rpm yaitu 94.04 gram, dan untuk massa gas tertinggi terdapat pada putaran 2400 rpm yaitu 130.76 gram. Dari data tersebut dapat dilihat bahwa hasil pirolisis pada putaran 2400 rpm lebih efisien dari pada variasi putaran lainnya. Hal itu dikarenakan proses *fast pyrolysis* pada pirolisis rotary antara bed material dan biomassa teraduk lebih merata dengan waktu yang singkat sehingga menghasilkan gas yang lebih banyak serta menghasilkan massa kondensat yang banyak pula, dan menghasilkan arang yang lebih sedikit.

### 4.3 Fuel Conversion Rate (FCR)

FCR merupakan kemampuan bahan bakar terkonversi menjadi kondensat, gas, serta arang. FCR dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

**Tabel 2. Fuel Conversion Rate (FCR)**

Putaran (rpm)	FCR (kg/jam)
1600	2,4
1800	2,63
2000	2,84
2400	3,49

Pada variasi putaran yang diberikan, FCR menunjukkan nilai tertinggi sebesar 3,49 pada variasi putaran maksimum yaitu 2400 rpm. Pada tabel 2 juga dapat dilihat semakin besar variasi putaran yang diberikan semakin besar nilai FCR yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan bed material dan biomassa akan teraduk lebih merata dengan waktu yang singkat dan mentransfer panas secara lebih merata sehingga membuat waktu proses pirolisis lebih cepat.

#### 4.4 Karakteristik Minyak Kondensat

**Tabel 3. Karakteristik Minyak Kondensat**

Variasi Putaran (rpm)	Massa Jenis Minyak Kondensat (g/ml)	Nilai pH Minyak Kondensat	Flash Point (°C)	Fire Point (°C)
1600	1.0212	5.06	56	67
1800	1.0128	5.21	52	63
2000	1.0124	5.31	46	57
2400	1.0084	5.94	38	46

Massa jenis minyak kondensat diperoleh dengan menggunakan persamaan massa jenis, dari data yang didapatkan semakin besar variasi putaran mesin yang diberikan maka semakin kecil nilai massa jenis dari minyak kondensat. Pada putaran maksimum yang diberikan, nilai pH minyak kondensat menunjukkan nilai yang semakin tinggi. Pengujian tingkat keasaman dilakukan dengan menggunakan pH meter. Selain massa jenis dan pH minyak kondensat yang terpengaruh oleh variasi putaran, Flash point dan Fire point minyak kondensat juga memiliki perubahan, dimana semakin besar variasi putaran yang diberikan nilai flash point dan fire point semakin kecil. Pada variasi putaran maksimum yang diberikan, yaitu 2400 rpm menunjukkan nilai flash point dan fire point masing-masing 38°C dan 46 °C.

#### 5. Kesimpulan

Pada variasi putaran 2400 rpm membentuk kondensat yang lebih banyak & mempunyai durasi operasional yang lebih singkat dibandingkan menggunakan variasi putaran lainnya. Semakin tinggi putaran maka meningkat juga kondensat yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan proses pemanasan yang terjadi lebih merata. Semakin tinggi putaran maka semakin tinggi nilai pH kondensat. Sedangkan

massa jenis berbanding terbalik yaitu semakin tinggi putaran maka semakin rendah massa jenis yang didapat. Adapun senyawa-senyawa yang terkandung pada kondensat, di setiap variasi putaran memiliki banyak senyawa dan terdapat presentase area tertinggi.

#### Daftar Pustaka

- [1] Xiu, S, Shahbazi, A., 201, *Bio-oil production and upgrading research: A review Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 7, pp. 4406–4414.
- [2] Khuenkaeo, N, Tippayawong. N., 2018, *Bio-oil production from ablative pyrolysis of corncob pellets in a rotating blade reactor*, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, , vol. 159, no. 1, p. 12037.
- [3] Tyson K.S., Bozell J., Wallace R., 2004, *Biomass oil analysis: research needs and recommendations*, National Renewable Energy Lab Golden Co.
- [4] Supriyadi S., Purwanto P., 2018, *Enhancing biodiesel from kemiri sunan oil manufacturing using ultrasonics*, in E3S Web of Conferences, , vol. 31, p. 2014.
- [5] Hendra D., Gusti R.E.P., Komarayati S., 2014, *Pemanfaatan limbah tempurung kemiri sunan (Aleuriteus trisperma) sebagai bahan baku pada pembuatan arang aktif*, J. Peneliti. Has. Hutan, vol. 32, no. 4, pp. 271–282.
- [6] Basu P., Gasification B., 2013, *Pyrolysis and Torrefaction Practical Design and Theory*, Elsevier, San Diego.
- [7] Tan Y.L., Abdullah A.Z., Hameed B.H., 2017, *Fast pyrolysis of durian (Durio zibethinus L) shell in a drop-type fixed bed reactor: Pyrolysis behavior and product analyses*, Bioresour. Technol, vol. 243, pp. 85–92.
- [8] Beis, S.H., Onay Ö., Koçkar Ö.M., 2002 *Fixed-bed pyrolysis of safflower seed: influence of pyrolysis parameters on product yields and compositions*, Renew. energy, vol. 26, no. 1, pp. 21–32.
- [9] Demirbas A., Arin G., 2002, *An overview of biomass pyrolysis*, Energy sources, vol. 24, no. 5, pp. 471–482,.
- [10] Basu, P., 2018, *Biomass gasification, pyrolysis and torrefaction: practical design*

*and theory.* Academic press,.

- [11] Hermiati E., Mangunwidjaja D., Sunarti T. C., Suparno O., Prasetya B., 2010, *Pemanfaatan biomassa lignoselulosa ampas tebu untuk produksi bioetanol*, J. Litbang Perta., vol. 29, no. 4, pp. 121–130.
- [12] Raveendran, K. Ganesh, A. Khilar, K. C., 1995, *Influence of mineral matter on biomass pyrolysis characteristics*, Fuel, vol. 74, no. 12, pp. 1812–1822.
- [13] Hendra, D., 2014, *Pembuatan biodiesel dari biji kemiri sunan*, J. Penelit. Has. Hutan, vol. 32, no. 1, pp. 37–45.

	<p><b>Yosua William Luhulima</b> menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana, Program Studi Teknik Mesin pada tahun 2021.</p>
<p>Topik penelitian yang diminati adalah bidang konversi energi</p>	

# Pengaruh Temperatur Terhadap Produksi Bio-oil Bungkil Kemiri Sunan Menggunakan Reaktor Pirolisis Rotary Bed

I Nyoman Jaya Prakarsa Wiraharja, I N. Suprpta Winaya, I G.N.P. Tenaya  
*Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali*

---

## Abstrak

Cadangan energi dari bahan bakar fosil diperkirakan akan semakin menipis seiring berjalannya waktu dan teknologi, akibatnya perlu adanya pengolahan sumber energi baru terbarukan yang berasal dari biomassa. 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 adalah dengan melalui proses pirolisis. Dalam proses pirolisis dengan temperatur yang lebih tinggi menyebabkan bahan bakar kemiri sunan terdekomposisi sempurna sehingga menghasilkan gas dan kondensat yang lebih banyak dengan jumlah arang yang relatif rendah. Maka penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur terhadap produksi massa minyak bio-oil (kondensat) melalui pirolisis *rotary bed*. Melalui variasi temperatur ini diharapkan agar massa kondensat yang dihasilkan akan semakin meningkat seiring dengan peningkatan temperatur. Pada variasi temperatur dilakukan pengoperasian reaktor yaitu 250°C, 350°C, 450°C, dan 550°C. Kesimpulan dari data hasil pengujian adalah pada variasi temperatur 550°C memiliki data nilai terbaik dibandingkan dengan variasi temperatur lainnya. Semakin tinggi temperatur maka semakin tinggi nilai pH kondensat, semakin menurun suhu *flash point* dan *fire point*.

**Kata Kunci:** Temperatur, Rotary pirolisis, minyak bio-oil (kondensat)

## Abstract

*Energy reserves produced by fossil fuels are estimated to be depleting as time passes by and the technology advances, resulting to the need for new renewable energy sources derived from biomass. However, processing sunan candlenut biodiesel by pressing method produces waste in the form of sunan candlenut cake which still contains oil that cannot be taken out through the press process. One way to take out this oil is through the pyrolysis process. In the pyrolysis process, the higher temperature causes the sunan candlenut fuel to be completely decomposed so as to produce more gas and condensate with a relatively low amount of charcoal. This study therefore sets out to assess the effect of temperature on the mass production of bio-oil (condensate) through rotary bed pyrolysis. In this study, it is expected that the produced mass of condensate will increase along with the increase in temperature. The reactor was operated at temperatures of 250°C, 350°C, 450°C, and 550°C. The research test result showed that the temperature of 550°C has better results compared to other temperature variations. The higher the temperature, the higher the pH value of the condensate and the lower the flash point and fire point temperatures.*

**Keywords :** Temperature, rotary pyrolysis, bio-oil (condensate), sunan candlenut

---

## 1. Pendahuluan

Pemakaian sumber energi baru dan terbarukan saat ini mulai mengarah pada energi yang berasal dari biomassa dan sangat diminati karena ketersediaannya cukup banyak dan melimpah di seluruh dunia. Perhatian khusus telah diberikan pada konversi biomassa menjadi *bio-fuel* salah satunya melalui proses konversi termokimia, seperti pirolisis, gasifikasi dan pembakaran [1], Pirolisis merupakan proses dekomposisi kimia menggunakan pemanasan dengan atau tanpa menggunakan oksigen dalam pembakarannya. Produk yang di hasilkan dari pirolisis berupa arang (*char*), minyak dan gas, untuk mendapatkan hasil produk yang baik perlu adanya konsistensi suhu, waktu dan biomassa. Pirolisis biasanya dilakukan dalam kisaran temperatur dari 300-650°C [2].

Adapun cara yang di lakukan saat ini yaitu *pyrolysis fixed bed* yang dimana dalam prosesnya ditambahkan *bed material* bertujuan untuk mempercepat reaksi dekomposisi dan memperpendek rantai hidrokarbon panjang sehingga mudah untuk di kondensasi menjadi *bio-oil* [3]. Penelitian tentang pirolisis *rotary* melaporkan bahwa dimana *rotary* reaktor adalah dapur horisontal dengan biomassa yang digerakan pada putaran tertentu dimana gesekan antara *bed material* akan terjadi transfer momentum yang disebabkan oleh putaran tungku yang selanjutnya dapat menyebabkan *bed material* bergesekan dengan biomassa yang selanjutnya akan mentransfer panas secara merata [4].

Adapun permasalahan yang di dapat yaitu bungkil kemiri sunan yang di hasilkan skala besar sampai saat ini baru di dimanfaatkan menjadi briket sebagai bahan bakar dan akan lebih baik jika limbah

dari bungkil kemiri sunan diproses dengan cara pirolisis untuk menjadi *bio-oil* (kondensat) yang tentunya dapat mengurangi jumlah limbah

Permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini adalah bagaimana efek variasi temperatur pada pirolisi biomassa kemiri sunan dengan menggunakan pirolisis *rotary bed*. Adapun variasi dalam penelitian ini adalah temperatur saat pengoperasian reaktor yaitu 250°C, 350°C, 450°C, dan 550°C.

## 2. Dasar Teori

### 2.1. Pirolisis

Pirolisis adalah dekomposisi termal bahan tanpa kehadiran oksigen atau oksigen secara signifikan jumlahnya kurang dari yang diperlukan untuk pembakaran sempurna. Ini penting untuk membedakan antara pirolisis dengan gasifikasi. Gasifikasi mengurai biomassa menjadi *syngas* dengan mengendalikan secara hati-hati jumlah oksigen yang hadir. Sedangkan pirolisis sulit didefinisikan secara tepat, terutama saat diaplikasikan pada biomassa.

### 2.2. Fluidized Bed

Bad *material* adalah suatu bahan yang di gunakan untuk membantu reaksi yang terjadi dan bahan tersebut tidak berubah karena reaksi yang dialaminya. Prinsip kerja dari *bed material* yaitu membantu reaksi yang terjadi tetapi ketika reaksi telah selesai, *bed material* tidak mengalami perubahan komposisi kimia sama sekali. *bed material* dapat mempercepat reaksi dan menurunkan temperatur kerja dari suatu reaksi. Hal inilah yang menyebabkan penambahan *bed material* merupakan langkah yang cukup efisien untuk proses pirolisis.

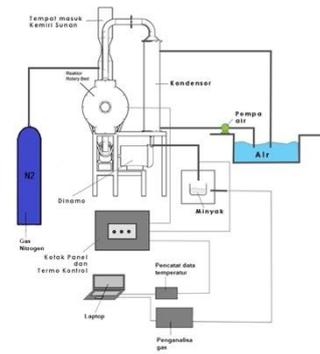
### 2.3. Pasir Besi

Pasir besi adalah partikel yang mengandung besi yang banyak terdapat di sepanjang pantai dan pegunungan di Sumatera, Jawa dan Bali. Pemanfaatan pasir besi sebagai katalis (*bed material*) dalam pirolisis maupun dekomposisi kimia telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Diantaranya menyatakan bahwa sebagai katalis Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> lebih menarik dalam menghasilkan *bio-oil* dengan komposisi yang cocok [5].

## 3. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, biomassa yang di gunakan adalah bungkil kemiri suna dan untuk *bed material* yang digunakan adalah pasir besi yang di mana sudah melewati proses penyaringan sebesar 2 mm guna menyesuaikan dengan reaktor dan temperatur yang di gunakan pada saat operasi reaktor adalah 250°C, 350°C, 450°C, 550°C

Gambar 1. menunjukkan skematik alat yang digunakan dalam penelitian pirolisis *rotary bed*.



Gambar 1. Skematik Reaktor Rotary Pirolisis

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1. Hasil Penelitian Pirolisis Rotary Bed

Tabel 1. Tabel Hasil Penelitian Pirolisis Rotary Bed

Variasi Temperatur (°C)	Massa Input Bahan Bakar (g)	Durasi Operasional (s)	Massa Kondensat (g)	Massa Arang (g)
250°C	300	630	10,25	173,25
350°C	300	510	55,35	138,67
450°C	300	450	78,24	98,47
550°C	300	330	93,19	73,57

### • Analisis Massa Output

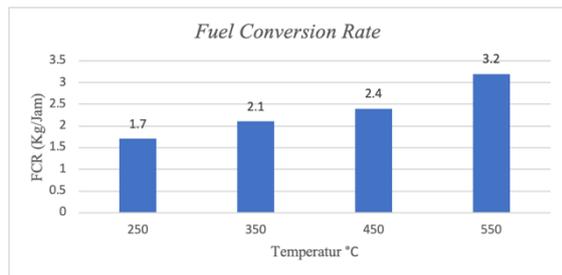
Dari tabel di atas dapat di lihat bahwa dalam penelitian sudah mendapatkan data berupa massa input, durasi operasional, massa kondensat dan massa arang. Dan pada penelitian ini dibutuhkan data untuk massa gas, dan untuk mencari massa gas disini menggunakan rumus kesetimbangan massa yang dimana jumlah massa masuk sama dengan massa yang keluar

Tabel 2. Tabel Nilai Massa Output Penelitian Rotary Pirolisis

Temperatur (°C)	Massa Output (%)		
	Arang	Kondensat	Gas
250°C	57,75	3,4	38,8
350°C	46,22	18,45	35,33
450°C	32,88	26,08	41
550°C	24,5	31,06	44,4

### 4.2. Uji Fuel Conversion Rate (FCR)

*Fuel conversion rate* adalah kemampuan bahan bakar terkonversi menjadi kondensat, gas, dan arang. Dapat diketahui massa bahan bakar yang dimasukan dan waktu operasional alat pirolisis Rotary Bed. Maka *fuel conversion rate* (FCR) masing-masing variasi temperatur dapat dihitung.

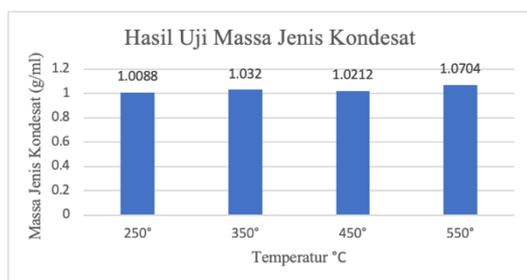


**Gambar 2. Grafik fuel conversion rate**

Berdasarkan drafik di atas dapat dilihat bahwa hasil FCR pada temperatur 550°C memiliki hasil yang tinggi. Hal ini dikarenakan proses pemanasan temperatur yang lebih tinggi mengakibatkan biomassa melebur dengan cepat dan terjadi konversi energi dengan cepat sehingga membuat waktu proses pirolisis lebih cepat.

#### 4.3. Uji Massa Jenis ( Density)

Perhitungan massa jenis pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya massa dalam setiap volumenya. Adapun data hasil data pengujian massa jenis dapat dilihat pada grafik di bawah ini.



**Gambar 3. Grafik Uji Massa Jenis Kondesat**

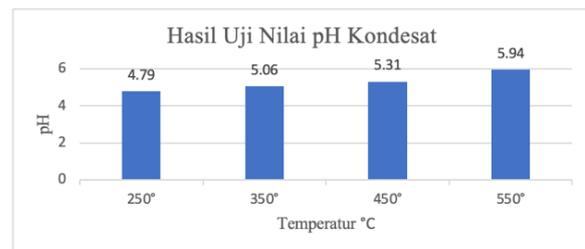
Pada grafik di atas dapat dilihat bahwa massa jenis minyak kondesat pada temperatur 550°C lebih tinggi, dan dapat disimpulkan semakin tinggi temperatur dalam proses rotari pirolisis maka massa jenis minyak kondesat menjadi lebih tinggi dan massa jenis yang lebih tinggi akan memiliki volume yang lebih rendah dari pada kondesat yang bermassa sama dengan perbedaan variasi temperatur.

#### 4.4. Uji Tingkat Keasaman / Nilai pH

Pengujian tingkat keasaman pada minyak kondesat bertujuan untuk mengetahui nilai pH dari minyak kondesat hasil proses pirolisis pada bungkil kemiri sunan. Pengujian tingkat keasaman dilakukan dengan menggunakan pH Meter. Adapun data tingkat keasaman hasil pengujian berdasarkan variasi temperatur dan posisi bahan bakar dapat dilihat pada grafik di bawah ini

Dari grafik dapat dilihat bahwa tingkat keasaman minyak kondesat dapat dilihat dari nilai pH, dan dari hasil nilai pH di atas dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur pada proses pirolisis maka nilai pH minyak kondesat semakin tinggi atau lebih ke arah pH yang basa yang dimana jumlah konsentrasi ion hydrogen [H+]

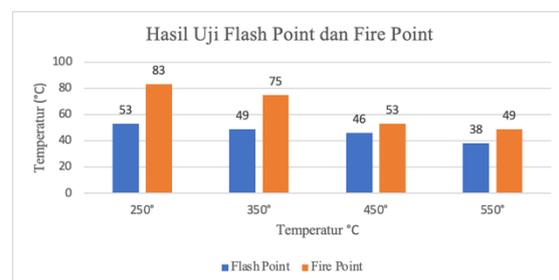
menjadi lebih sedikit dibandingkan jumlah konsentrasi ion hidroksil [H-].



**Gambar 4. Grafik Tingkat Keasaman / Nilai pH**

#### 4.5. Uji Flash Point dan Fire Point

Pengujian *Flash Point* dan *Fire Point* pada minyak kondesat bertujuan untuk mengetahui titik nyala dan suhu terendah dimana uap minyak akan menyala dan terbakar secara terus-menerus kalau terkena nyala api dari minyak kondesat hasil proses pirolisis pada bungkil kemiri sunan. Adapun data uji *flash point* dan *fire point* hasil pengujian berdasarkan variasi temperatur dan posisi bahan bakar dapat dilihat pada grafik di bawah ini



**Gambar 5. Grafik Flash Point dan Fire Point**

Pada grafik di atas dapat dilihat bahwa suhu *flash point* dan *fire point* akan semakin menurun seiring peningkatan variasi temperatur, hal ini di karenakan semakin tinggi variasi suhu yang di pakai maka semakin baik dari kualitas kondesat yang di hasilkan dan di tunjukan dengan semakin rendah hasil suhu *flash point* dan *fire point*.

#### 5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa: dari hasil uji kesetimbangan massa dapat disimpulkan bahwa hasil pirolisis pada pada temperatur 550°C memiliki data terbaik dimana jumlah kondesat dan jumlah gas memiliki hasil tertinggi dan memiliki jumlah arang terendah. Dari hasil uji *fuel conversion rate* pada temperatur 550°C memiliki hasil terbaik. Hal ini dikarenakan proses pemanasan yang tinggi menyebabkan bahan bakar kemiri sunan terdekomposisi sempurna sehingga menghasilkan gas dan kondesat yang banyak dengan jumlah arang yang relatif rendah dari variasi temperatur lainnya. Dan dikarenakan hasil FCR yang tinggi sehingga membuat waktu proses pirolisi menjadi lebih cepat

Dari hasil uji karakteristik minyak kondensat dapat di lihat bahwa massa jenis minyak kondensat pada temperatur 550°C lebih tinggi. Dari uji karakteristik minyak kondensat dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur maka semakin tinggi pula nilai pH kondensat atau lebih ke arah pH yang basa. Dan untuk uji *flash point* dan *fire point* dapat di simpulkan bahwa suhu *flash point* dan *fire point* akan semakin menurun seiring peningkatan variasi temperatur, hal ini di karenakan semakin tinggi variasi temperatur yang di pakai maka semakin baik dari kualitas kondensat yang di hasilkan dan di tunjukan dengan semakin rendah hasil suhu *flash point* dan *fire point*.

#### Daftar Pustaka

- [1] Patel, M., Zhang, X. and Kumar, A., 2016, *Techno-Economic And Life Cycle Assessment On Lignocellulosic Biomassa Thermochemical Conversion Technologies*, A review Renewable and Sustainable Energy Reviews 53, pp.1486-1499.
- [2] Basu, P., 201, *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.

- [3] Winaya, I.N.S., 2012, *Fluidized Bed Combustion of High Volatile Matter Fuels – Porous Bed Material*, Heinrich-Bocking-Str. 6-8, 66121 Saarbucken, Germany. LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG.
- [4] Nugroho, Wijayanti W. and Sasongko M.N., 2019, *Pengaruh Temperatur terhadap Laju Reaksi Tar Hasil Pirolisis Serbuk Kayu Mahoni pada Rotary Kiln*, *Rekayasa Mesin*, 10(2), pp. 113-120
- [5] Honma, S., Hata, T. & Watanabe, T., 2014, *Effect of Catalytic Pyrolysis Conditions Using Pulse Current Heating Method on Pyrolysis Products of Wood Biomass*, Hindawi Publishing Corporation eScientific World Journal



**I Nyoman Jaya Prakarsa Wiraharja**  
menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana, Program Studi Teknik Mesin, Tahun 2021.

Bidang penelitian yang menjadi konsentrasi adalah topik pembahasan konversi energi.

# Pengaruh Variasi Fraksi Massa Terhadap Kekuatan Bending Dan Morfologi Biokomposit Serat Bambu Tali Dengan Matriks Resin Epoxy

Joshua M. T., C I P Kusuma Kencanawati dan I W Bandem Adnyana  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

Bambu adalah salah satu pilihan bahan baku alternatif non kayu yang tersedia dalam jumlah besar. Bambu mempunyai serat yang panjang dan mempunyai kelebihan untuk urusan panen yang membutuhkan 3 sampai 4 tahun dimana sudah bisa dipanen dibanding pohon jenis kayu yang paling cepat dipanen yakni 8-20 tahun. Komposit merupakan salah satu cara untuk memanfaatkan fungsi bambu dimana bambu masih sangat jarang digunakan sebagai bahan utama komposit. Komposit adalah material baru yang terdiri dari dua bahan material atau lebih dimana karakteristik material yang berbeda. Oleh karena itu bambu akan digunakan sebagai salah satu bahan komposit bersifat penguat yang akan digabungkan dengan resin epoxy sebagai matriksnya. Penelitian ini memiliki sasaran untuk mengenal keistimewaan fisik dan mekanik komposit serat bambu dan resin epoxy dengan variasi serat bambu 10%, 15%, dan 20%. dimana pengujian yang dilakukan adalah uji bending dan uji SEM. Hasil uji bending menunjukkan bahwa serat bambu dengan matrik resin epoxy dengan 20% serat dan 80% matriks memiliki nilai tegangan dan regangan paling tinggi dengan nilai berturut-turut 82,54 Mpa, 0,0153 mm/mm dan didukung juga melalui uji SEM yang menunjukkan ikatan antara serat bambu dan matriks resin epoxy terlihat paling homogen dibanding dengan variasi serat yang lain.

**Kata kunci:** Komposit, resin Epoxy, serat bambu

## Abstract

Bamboo is one of the alternative non-timber raw materials that are available in large quantities. Bamboo is a long fiber and has advantages in terms of harvesting, it only takes 3-4 years to be harvested compared to the fastest growing types of wood trees which takes 8-20 years. Composite is one way to take advantage of the function of bamboo. Bamboo is still very rarely used as the main material of composite. Composite is a new material from engineering which consists of two or more material where the characteristics of the material are different. Therefore, bamboo will be used as a reinforcing composite material which will be combined with epoxy resin as the matrix. This study aims to determine the physical and mechanical characteristics of bamboo fiber and epoxy resin composite with variations of bamboo fiber 10%, 15%, and 20%. where the tests carried out are bending tests and SEM tests. The results of the bending test showed that bamboo fiber with an epoxy resin matrix with a variation of 20% fiber had the highest bending strength value with the stress and strain values respectively 82,54 Mpa, 0.0153 mm/mm and also supported through SEM test which showed the bond between bamboo fiber and epoxy resin matrix is the one looks the most homogeneous compared to other fiber variations.

**Keywords:** Composite, resin epoxy, bamboo fiber

## 1. Pendahuluan

Indonesia adalah salah satu negara dimana mempunyai banyak sekali kekayaan alam yang luar biasa, baik dari segi hasil alam, darat, dan air. Indonesia juga adalah sebuah negara yang mempunyai luas hutan terbesar didunia. Seiring berjalannya waktu maka kebutuhan manusia semakin banyak dan persediaan alam yang semakin sedikit. Oleh sebab itu banyak peneliti berusaha mendapatkan bahan baru untuk pengganti bahan alami yang sudah mulai berkurang salah satunya adalah kayu.

Untuk menanggulangi hal tersebut banyak pilihan non kayu yang dapat digunakan, salah satunya adalah bambu. Bambu memiliki karakteristik

serat yang panjang dan mempunyai keunggulan dalam hal panen yakni hanya 3 sampai 4 tahun telah dapat dipanen lebih cepat daripada kayu membutuhkan 8 - 20 tahun [1]. Indonesia terdapat 143 jenis bambu dimana yang paling sering digunakan adalah jenis bambu tali, betung, andong, dan bambu hitam [2]. Hingga sampai saat ini bambu belum difungsikan dengan maksimal, khususnya di bali bambu sebagian besar digunakan untuk penjor di hari raya besar galungan dan sebagai penahan bangunan sementara saat pembangunan proyek hotel, villa ataupun rumah penduduk yang biasanya setelah dilepas maka tidak digunakan lagi atau dijual kembali. Dalam upaya pemanfaatan lebih terhadap bambu tersebut maka dimanfaatkan secara optimal

dengan menggunakan teknik komposit dimana komposit merupakan material baru yang terdiri dari dua atau lebih dimana memiliki karakteristik yang tidak sama dengan lainnya [3].

Oleh karena itu dalam memaksimalkan bahan bambu tersebut maka digunakan sebagai bahan baku komposit dengan resin epoxy sebagai bahan matriksnya untuk mengetahui sifat mekaniknya yang dapat diketahui melalui morfologi permukaan patahannya sesuai dengan karakteristik yang dicari menggunakan uji bending dan uji SEM, dimana uji bending digunakan untuk mengetahui kekuatan material terhadap beban yang diberikan dan uji SEM untuk melihat morfologinya.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Komposit

Komposit merupakan suatu bahan yaitu serat dan matriks yang terbuat dari dua bahan penyusun atau lebih, komposit juga memiliki sifat fisik dan sifat mekanik yang berlainan dan pada skala makroskopis setiap penyusunnya juga dapat dibedakan [4] komposit dapat dibedakan berdasarkan dari bahan materialnya, yakni yang berasal dari alam yakni biokomposit dan yang tidak berasal dari alam yakni *synthetic*

### 2.2 Uji Bending

Uji bending adalah salah satu upaya pengetesan dimana untuk mengetahui kekuatan material pada saat diberikan beban. Kekuatan bending merupakan tegangan bending tertinggi yang diterima dari pembebanan benda luar tanpa benda uji tersebut mengalami deformasi, dimana pada saat benda uji komposit diuji bending mendapatkan tekanan pada bagian atas dan pada bagian bawah komposit akan mendapatkan regangan. Perhitungan dan pengujian bending ini mengikuti ASTM D790-03.

Tegangan bending

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

Regangan bending

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

Keterangan :

- $\sigma_L$  = Tegangan bending (MPa)
- $\epsilon_L$  = Regangan bending (mm/mm)
- P = Beban (N)
- $\delta$  = Defleksi Spesimen (mm)
- L = Panjang antar tumpuan (mm)
- b = Lebar spesimen (mm)
- d = Tebal spesimen (mm)

### 2.4 SEM

Uji SEM merupakan mikroskop elektron yang difungsikan melihat lapisan terluar dari benda uji yang solid secara langsung, yang dimana dapat melakukan pembesaran 10 sampai 3 juta kali,

kedalaman 4-0.4 mm dengan resolusi 1-10 nm [5]. dan pada pengujian sem ini dilakukan pada pembesaran 40x untuk melihat bentuk morfologi dari biokomposit bambu tali dengan resin epoxy terhadap kekuatan bending.

## 3. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan alat dan bahan sebagai berikut:

### 3.1 Alat Penelitian

Pada alat-alat keselamatan kerja (K3) dibutuhkan *hand gloves* dan masker. Pada alat-alat ukur digunakan timbangan digital dan gelas ukur. Pada alat-alat bantu digunakan alat pencampur, kertas aluminium dan mentega. Pada alat pencetakan menggunakan bahan kayu berdasarkan ASTM D790-03. Pada alat uji digunakan alat uji bending dan SEM.

### 3.2 Bahan Penelitian

Bahan yang dipakai pada pengujian ini adalah bahan serat bambu tali yang berasal dari bekas pemakaian penahan sementara bangunan proyek yang dibuat menjadi serat dengan ukuran serat rata-rata 1 cm. Dan pada matriksnya menggunakan resin epoxy.

### 3.3 Komposisi Bahan Biokomposit

Komposisi biokomposit serat bambu tali dengan resin epoxy dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

**Tabel 1. Pembuatan Bahan Komposit**

Komposit	10%:90%	15%:85%	20%:80%
Massa Serat	4,5 gr	6,75 gr	9 gr
Massa Matriks	66,34 gr	62,65 gr	58,97 gr

### 3.4 Proses Pembentukan Biokomposit

Proses dalam pembuatan biokomposit serat bambu tali dengan resin epoxy adalah sebagai berikut:

- 1 Bambu tali dibersihkan dan memilah lapisan ke -3 sampai -5 untuk mendapatkan bahan baku serat yang akan digunakan.
- 2 Serat bambu diberi perlakuan *water retting* selama 14 hari.
- 3 Mengeringkan serat bambu sampai kadar air menghilang dibawah sinar matahari. Hilangnya kadar air diketahui dengan menimbang spesimen secara berulang sampai massanya stabil atau sama.
- 4 Setelah kering, serat pada bambu diekstrak menggunakan sikat kawat atau pisau untuk mendapatkan panjang serat yang diinginkan.
- 5 Serat bambu tali dicampurkan dengan resin epoxy dan diaduk sampai rata
- 6 Campuran serat bambu tali dengan resin epoxy dimasukan kedalam pencetak yang sudah ditutupi kertas aluminium dan mentega

setelah itu diberikan batu dengan berat kurang lebih 5 kg

- 7 Lakukan kembali pada komposisi spesimen yang lain dari awal
- 8 Setelah kering kurang lebih 48 jam, cetakan biokomposit dibongkar
- 9 Potong spesimen sesuai ukuran ASTM
- 10 Spesimen siap diuji

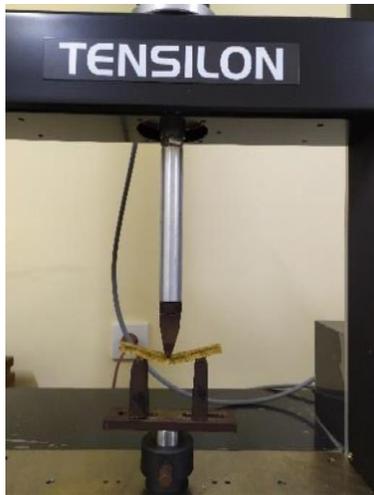


**Gambar 1. Spesimen Uji Bending**

#### 4. Hasil dan Pembahasan

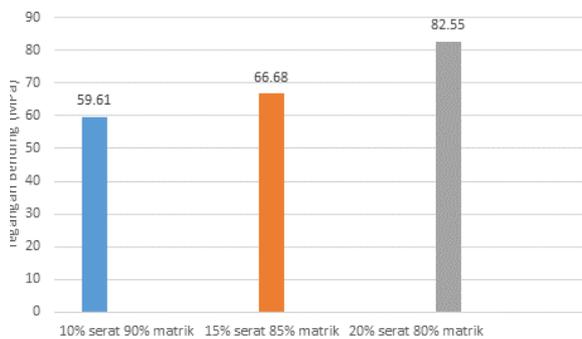
##### 4.1 Uji Bending

Pengujian bending ini menggunakan sebanyak 3 sampel pada setiap variasi fraksi massa.



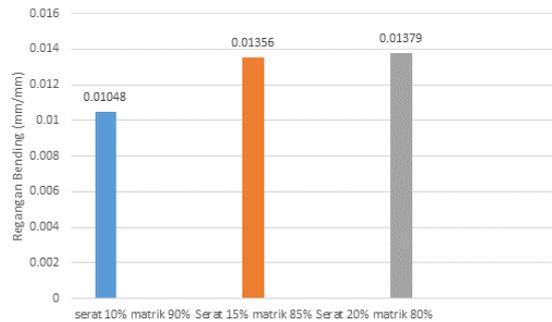
**Gambar 2. Uji Bending Spesimen**

Hasil uji bending yang didapatkan dikalkulasikan dengan cara persamaan pada ASTM D790-03. kemudian hasil yang didapat dibuatkan grafik kekuatan rata-rata tegangan dan kekuatan rata-rata regangan spesimen uji.



**Gambar 3. Grafik Tegangan Bending**

dengan tiga jenis variasi fraksi berat pada serat dan matriks penyusunnya. Spesimen dengan fraksi berat 10% dan 90% memiliki nilai tegangan bending sebesar 59,61 Mpa. Kemudian spesimen dengan fraksi berat serat 15% dan 85% matriks, memiliki nilai tegangan bending sebesar 66,68 Mpa. Spesimen dengan fraksi berat serat 20% dan 80% matriks memiliki nilai tegangan bending sebesar 82,54 Mpa. Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat bahwa banyaknya bahan penguat atau serat pada spesimen akan sangat berpengaruh terhadap kekuatan biokomposit, dimana berdasarkan gambar 3 pada pengujian yang menggunakan serat paling banyak yakni 20% memiliki kekuatan material terbaik dari material uji yang lain.



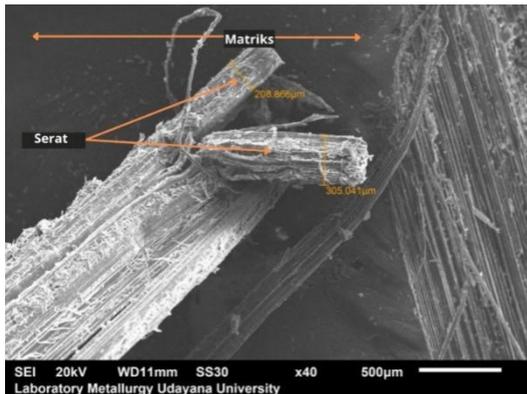
**Gambar 4. Grafik Regangan Bending**

Dengan tiga jenis variasi fraksi berat pada serat dan matriks penyusunnya. Spesimen dengan fraksi berat 10% dan 90% memiliki nilai regangan bending sebesar 0,0105, kemudian spesimen dengan fraksi berat serat 15% dan 85% matriks memiliki nilai tegangan bending sebesar 0,0132, dan juga spesimen dengan fraksi berat serat 20% dan 80% matrik nilai tegangan bending sebesar 0,0153. Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat juga bahwa pada serat 20% yakni menggunakan serat paling banyak memiliki nilai regangan yang paling tinggi dari spesimen uji yang lain dengan serat yang lebih sedikit persentasenya. Pada nilai regangan bending hasil dari pengujian dan grafik diatas memiliki hasil yang sama dengan nilai tegangan bending dimana semakin banyak serat yang digunakan maka nilai regangan akan semakin baik.

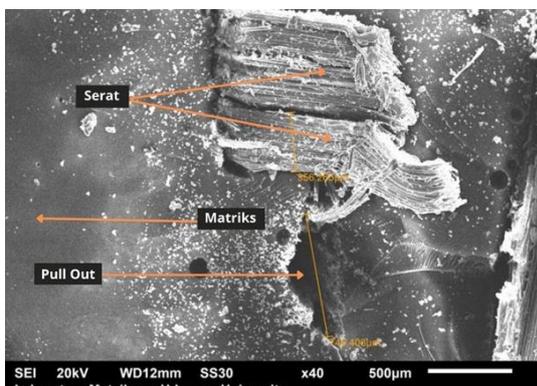
##### 4.4 Uji SEM

Pengujian SEM dilakukan sebanyak 3 kali dengan menguji masing – masing satu spesimen per variasinya, dimana perbesarannya adalah 40x. Hasil dari uji SEM (*Scanning Electron Microscope*) dapat kita lihat dan amati seperti gambar disini.

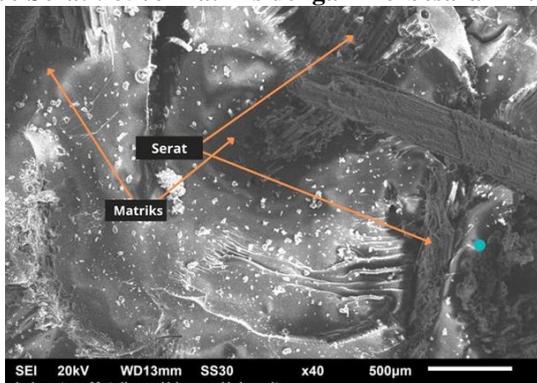
Berdasarkan hasil uji SEM pada setiap komposisi komposit. Dapat dilihat bahwa pada gambar 5 fraksi volume 10 % serat dan 90% epoxy hasilnya jarak antar serat yang cukup jauh yang mengakibatkan kekuatan pada komposit tidak terlalu bagus meskipun pada gambar tersebut jarang dan cukup sulit ditemukannya *void*.



**Gambar 5 Hasil Uji SEM Biokomposit Fraksi Variasi 10% Serat : 90% Matriks dengan Perbesaran 40x**



**Gambar 6 Hasil Uji SEM Biokomposit Variasi 15 % Serat : 85% Matriks dengan Perbesaran 40x**



**Gambar 7 Hasil Uji SEM Biokomposit Variasi 20% Serat : 80% Matriks dengan Perbesaran 40x**

Sedangkan pada gambar 6 pada fraksi volume 15% serat dan 85% epoxy, dapat dilihat bahwa jarak antar serat sudah mulai semakin homogen dengan matriks epoxy tersebut meskipun ditemukan beberapa void terjadi pada spesimen tersebut tetapi hasil dari kekuatan bending dengan serat 15% masih lebih bagus dibanding dengan serat 10% yang dimana berarti serat sangat berpengaruh pada kekuatan suatu komposit dan juga pada gambar 6 ditemukannya pull out yang menunjukkan pembeda antara void dan hasil patahan serat yang ketarik keluar pada saat pengujian bending. Sedangkan pada gambar 7 pada fraksi volume 20% serat dan 80% epoxy dapat dilihat

bahwa serat dan epoxy memiliki kerapatan yang jauh lebih baik dibanding dengan serat 15% dan lebih sedikit ditemukannya void. Yang membuat hasil uji bending serat 20% paling baik dari ketiga spesimen komposit tersebut.

## 5. Kesimpulan

Berlandaskan hasil pengujian yang dilakukan tentang karakteristik fisik dan mekanik komposit serat bambu tali dengan matrik resin epoxy dengan melakukan pengujian terhadap sifat bending dan bentuk struktur morfologi melalui uji SEM, maka disimpulkan :

1. Hasil uji bending menunjukkan komposit serat bambu tali dengan matriks resin epoxy dengan pembentukan 20% serat : 80% matriks mendapatkan kekuatan bending paling tinggi dengan tegangan 82,54 MPa dan regangan 0,0153.
2. Hasil uji SEM menunjukkan bahwa hasil pengujian bending berbanding lurus dengan gambar morfologi spesimen, karena dapat dilihat bahwa pada serat 20% hubungan antara serat dan epoxy semakin homogen yang mengakibatkan kekuatan bending pada serat 20% menjadi paling bagus dibanding dengan serat 10% dan 15%.

## Daftar pustaka

- [1] Rusnoto, 2017, *Studi Pengaruh Panjang Serat Bambu pada Kekuatan Impak Komposit Matrik Polyester*, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Pancasila Tegal.
- [2] Xiao Y., 2008, *Modern Bambu Structure, Proceeding of First International Conference on Modern Bambu Structure*, Changsha, China.
- [3] Giannitra D., Kencanawati, C.I.P.K., & Negara, D.N.K.P., 2019, *Karakteristik Akustik Dan Mekanik Dari Green Composite Serat Sabut Kelapa (Cocos Nucifera) Bioresin Getah Pinus (Pinus Merkusii) Dengan Variasi Waktu Perlakuan Alkali (Naoh)*, Teknik Desain Mekanika. Vol. 8, No. 2.
- [4] Maryanti B., Sonief A.A., Wahyudi S., 2011, *Pengaruh Alkalisasi Komposit Serat Kelapa Poliester Terhadap Kekuatan Tarik*, Jurnal Rekayasa Mesin, Vol.2 No.2, pp. 123-129.
- [5] Yudi, 2011, *Scanning Electron Microscope (SEM) dan Optical Emission Spectroscop (OES)*, Wordpress.

	<p><b>Joshua Maruli Tambunan</b> menyelesaikan studi SMA di SMA Negeri 3 Singkawang pada tahun 2015 dan melanjutkan studi S1 di Universitas Udayana pada Program Studi Teknik Mesin, dan dapat menyelesaikan studi S1 pada tahun 2021.</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik polimer komposit.</p>	