

ISSN 2302 – 5182



# **TEKNIK DESAIN MEKANIKA**

Jurnal Ilmiah Teknik Mesin

Volume 10 • Nomor 4 • OKTOBER • 2021 • Hal. 1551-1639

**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 4

Hal. 1551-1639

Badung, Oktober 2021

ISSN 2302-5182

**TEKNIK DESAIN MEKANIKA**  
Jurnal Ilmiah Teknik Mesin



**Volume 10, Nomor 4, Oktober 2021, Hal. 1551 – 1639**

**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 4 Oktober 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 4 ini, disajikan 15 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 4 • Oktober 2021 • Hal. 1551 – 1639

### 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>	1476 - 1481

Rafi Purwadi, I Wayan Surata, Tjokorda Gde Tirta Nindhia	
<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

# Uji Performansi Insinerator Sampah Residu Dengan Variasi Kecepatan Udara Pembakaran

Fadhil Alfarel Wisprantoko, I Nyoman Suprapta Winaya, I Gede Putu Agus Suryawan, I Wayan Arya Darma

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit, Jimbaran Bali

## Abstrak

Bali adalah destinasi wisata yang terkenal di dunia dengan jumlah kunjungan wisatawan di Bali pada tahun 2019 mencapai 6.2 juta wisatawan. Hal ini menyebabkan penumpukan jumlah sampah di TPA seperti sampah organik, anorganik, dan sampah tidak bisa di daur ulang (sampah residu), semakin hari terus bertambah. Insinerator merupakan teknologi alternatif pengolahan sampah yang dapat mengonversi sampah menjadi gas dan abu dengan menggunakan metode pembakaran pada temperatur tinggi. Kecepatan udara pada proses pembakaran menjadi salah satu indikator penting dalam performansi insinerator karena menentukan kualitas pembakaran pada reaktor insinerator. Variasi kecepatan udara pembakaran yang digunakan pada penelitian ini yaitu 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s, dan 6 m/s. Berdasarkan seluruh indikator performansi insinerator sampah residu yang didapat pada penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa variasi kecepatan udara 4 m/s merupakan variasi kecepatan udara yang paling baik dikarenakan kandungan gas buang menunjukkan proses pembakaran yang baik, laju pembakaran tertinggi (5,413 kg/Jam), laju penggunaan bahan bakar solar yang paling rendah (0,105 L/jam), kapasitas termal tertinggi (87,057 MJ/jam), serta efisiensi pembakaran yang baik dan terbilang tinggi (95,16031 %).

**Kata Kunci:** Insinerator, Sampah Residu, Variasi Kecepatan Udara, Performansi

## Abstract

Bali is one of the most famous tourist destinations in the world with the number of tourist visits in Bali in 2019 reaching 6.2 million tourists. This causes the accumulation of the amount of waste in the landfill such as organic, inorganic, and residual waste that cannot be recycled, increasing day by day. Incinerator is an alternative technology for processing waste that can convert waste into gas and ash by using the combustion method at high temperatures. Air velocity in the combustion process is one of the important indicators in incinerator performance because it determines the quality of combustion in the incinerator reactor. Variations in the combustion air velocity used in this study were 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s, and 6 m/s. Based on all indicators of residual waste incinerator performance obtained in this study, it can be concluded that the variation of air velocity 4 m/s is the best variation of air velocity because the exhaust gas content shows a good combustion process, the highest combustion rate (5.413 kg/hour), the lowest rate of use of diesel fuel (0.105 L/hour), the highest thermal capacity (87.057 MJ/hour), and good and fairly high combustion efficiency (95.16031 %).

**Keywords:** Incinerator, Residual Waste, Combustion Air Velocity Variation, Performance

## 1. Pendahuluan

Bali merupakan salah satu destinasi wisata yang terkenal di dunia dengan objek wisata alam yang indah dan bervariasi. Namun dibalik keindahannya tersebut, jumlah sampah yang dihasilkan di Bali begitu banyak. Hal ini menuntut berbagai pihak dari pemerintah hingga masyarakat untuk bekerja sama dalam mengurangi jumlah sampah. Beberapa bentuk penanganan yang dilakukan pemerintah provinsi Bali yaitu dengan mengeluarkan Pergub No. 97 Tahun 2018 tentang melarang penggunaan plastik sekali pakai dan menyediakan TPA (Tempat Pemrosesan Akhir) sebagai tempat memproses sampah agar aman untuk dikembalikan ke lingkungan dan manusia.

Namun setelah berjalannya peraturan tersebut, Dinas Kehutanan Dan Lingkungan

Hidup (DLHK) menyatakan Bali menghasilkan sampah mencapai 1,5 juta ton sampah setiap tahunnya atau 4,281 ton setiap harinya dengan 52 % jumlah sampah belum dikelola dengan baik [1]. Selain itu permasalahan yang terjadi di TPA, sampah yang ditampung di TPA belum dikelola dengan maksimal sehingga menyebabkan penumpukan sampah semakin hari terus bertambah serta membutuhkan lahan yang lebih luas [2].

Terdapat beberapa kekurangan pada metode komposting dan *landfill*. Kekurangan pada metode kompos yaitu hanya sampah tertentu yang dapat diolah menjadi kompos sehingga sampah yang tidak dapat diolah tetap menjadi sampah. Kekurangan pada metode *landfill* yaitu lahan yang dibutuhkan cukup besar dengan jumlah sampah yang

dihasilkan setiap harinya di Bali sehingga dapat menyebabkan kerusakan pada tanah dan berakibat buruk pada lingkungan sekitar. Dari beberapa kekurangan pada metode komposting dan landfill, metode insinerasi menjadi opsi yang dapat diandalkan untuk mengatasi permasalahan sampah di Bali [3].

Metode insinerasi merupakan metode pengolahan sampah dengan cara dibakar pada temperatur tinggi untuk mereduksi sampah, membunuh bakteri, virus, dan kimia toksik[4]. Salah satu teknologi pengolahan sampah dengan metode insinerasi yaitu teknologi insinerator.

Kesempurnaan pembakaran merupakan faktor penting pada teknologi insinerator. Dalam kesempurnaan pembakaran, terdapat tiga hal yang dapat mempengaruhi proses pembakaran yaitu perbandingan kebutuhan udara dan bahan bakar (*Air Fuel Ratio*), kehomogenan campuran, dan temperatur pembakaran. Setiap AFR menghasilkan emisi gas buang yang berbeda-beda. Perbandingan udara dengan bahan bakar yang tidak ideal akan berdampak terhadap proses pembakaran. Proses pembakaran yang kurang sempurna dapat berpotensi menghasilkan emisi gas buang yang mengandung bahan berbahaya dan beracun (B3) [5].

Untuk itu permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh variasi kecepatan udara pembakaran pada AFR terhadap performansi insinerator sampah residu. Berikut dibatasi dengan penentuan kecepatan udara sebesar 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s, dan 6 m/s. Adapun sampah yang digunakan sudah dicacah dan dikeringkan.

## 2. Dasar Teori

### 2.1. Insinerator

Insinerator adalah teknologi tungku pembakaran yang dapat mengelolah limbah padat (sampah) dan mengkonversi materi padat (sampah) menjadi materi gas dan abu (*bottom ash* dan *fly ash*). Kelebihan dari Insinerator yaitu mampu merubah bentuk sampah menjadi lebih kecil menghasilkan sisa pembakaran yang sterill sehingga dapat langsung dibuang ke tanah, selain itu insinerator dapat merubah volume sampah mencapai 85%-90% dan pengurangan berat sampah sebesar 70%-80%.

### 2.2. Parameter Unjuk Kerja Insinerator

Dibutuhkan pengujian pada unjuk kerja mesin sehingga dapat memastikan penggunaannya dapat maksimal. Beberapa parameter unjuk kerja insinerator yaitu [6]:

- Pengukuran suhu
- Laju pembakaran

### c. Rendeman abu

Untuk lebih mengetahui performansi insinerator dalam penggunaan yang maksimal dapat dinilai dengan menghitung:

#### a. Kapasitas termal

$$\text{Kapasitas termal} = B_{bt} \times C \quad (1)$$

Keterangan

$$B_{bt} = \text{Laju pembakaran (kg/jam)}$$

$$C = \text{Nilai Kalor (J/kg)}$$

#### b. Efisiensi pembakaran

$$\text{Efisiensi pembakaran} = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{Q_{in}} \quad (2)$$

Keterangan

$$Q_{in} = \text{Massa sampah} \times \text{LHV (J)}$$

$$Q_{out} = \text{Kalor yang terbuang (J)}$$

### 2.3. Air Fuel Ratio (AFR)

Salah satu hal yang harus diperhatikan pada proses pembakaran yaitu jumlah udara dan bahan bakar. Untuk mengetahui kuantitas jumlah udara dan bahan bakar pada proses pembakaran dinyatakan menggunakan AFR yaitu perbandingan antara massa udara dengan massa bahan bakar[7].

$$\text{AFR} = \frac{m_{air}}{m_{fuel}} = \frac{(N.M)_{air}}{(N.M)_{fuel}} \quad (3)$$

Keterangan:

$$m_{air} = \text{Massa udara (kg)}$$

$$m_f = \text{Massa bahan bakar (kg)}$$

$$N_a = \text{Jumlah mol udara (kmol)}$$

$$N_f = \text{Jumlah mol bahan bakar (kmol)}$$

$$M_a = \text{Massa molar udara (kg/kmol)}$$

$$M_f = \text{Massa molar bahan bakar (kg/mol)}$$

Laju aliran massa merupakan mengalirnya jumlah massa suatu zat melalui suatu permukaan persatuan waktu. Beberapa faktor yang mempengaruhi laju aliran massa yaitu luas penampang, densitas, dan kecepatan.

$$\dot{m}(\text{kg/s}) = \rho \cdot V \cdot A \quad (4)$$

Keterangan:

$$\rho = \text{Densitas (kg/m}^3\text{)}$$

$$V = \text{Kecepatan rata-rata (m/s)}$$

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

### 2.4. Proses pembakaran

Proses pembakaran yaitu proses berlangsungnya bahan bakar yang teroksidasi secara cepat dengan pelepasan energi (panas) dalam jumlah banyak. Proses pembakaran sempurna dapat terjadi apabila suplai udara pada proses pembakaran mencukupi. Dalam pembakaran aktual, pencampuran udara dan bahan bakar biasanya didekati melalui penambahan *excess air*. Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses pembakaran yaitu:

- Turbulence.
- Kebutuhan udara yang cukup pada proses pembakaran.
- Suhu pembakaran (Temperatur).
- Waktu yang cukup untuk berlangsungnya reaksi (Time).

e. Berat jenis bahan yang akan dibakar.

### 3. Metode penelitian

Metode penelitian yang dilakukan menerapkan studi eksperimental untuk mengetahui pengaruh dari satu variabel ke variabel lainya dengan batasan- batasan yang ada. Studi eksperimental pada metode penelitian ini bertujuan untuk mencari pengaruh variasi kecepatan udara pembakaran pada AFR terhadap performansi insinerator sampah residu dengan menggunakan bahan bakar sampah residu yang telah dicacah dan dikeringkan selama 3 hari.

Adapun variabel yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

a. Variabel bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang diberi perlakuan yang bertujuan untuk mendapatkan hasil yang dikehendaki. Dalam penelitian ini variabel bebas yang digunakan yaitu variasi kecepatan udara *blower* pada *primary chamber* dalam proses insinerasi insinerator sampah residu. Dalam menentukan variasi kecepatan yang digunakan maka perlu diketahui terlebih dahulu AFR stoikiometri agar mendapatkan kebutuhan kecepatan udara pada AFR stoikiometri. Dari perhitungan kecepatan udara yang dibutuhkan pada AFR stoikiometri mendapatkan hasil 4,315 m/s, sehingga dalam penelitian ini variasi kecepatan udara yang digunakan yaitu:

- Kecepatan udara 2 m/s.
- Kecepatan udara 3 m/s.
- Kecepatan udara 4 m/s.
- Kecepatan udara 5 m/s.
- Kecepatan udara 6 m/s.

b. Variabel terikat

Variabel terikat adalah faktor- faktor yang mendapatkan pengaruh dari variabel bebas. Variabel terikat pada penelitian insinerator sampah residu yaitu:

- Laju pembakaran.
- Laju penggunaan bahan bakar solar.
- Komposisi gas buang.
- Kapasitas termal.
- Efisiensi pembakaran.

c. Variabel kontrol

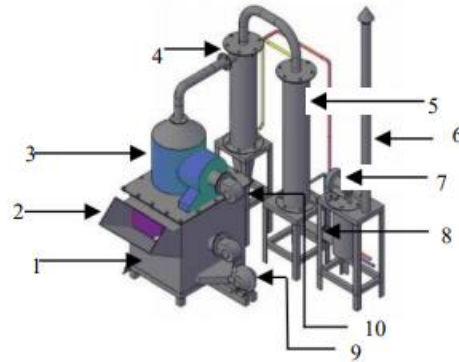
Variabel yang dibuat konstan sehingga faktor- faktor yang tidak diteliti dari luar tidak dapat mempengaruhi variabel. Adapun variabel kontrol pada penelitian ini sebagai berikut:

- Temperatur operasi yang dikontrol melalui *box panel* sebesar 400°C

b. Jumlah sampah residu yang digunakan sebesar 10 kg untuk setiap variasi kecepatan udara.

c. Lama proses pembakaran yaitu 80 menit.

Pada gambar 1 akan ditampilkan skematik alat insinerator sampah residu yang digunakan dalam penelitian ini beserta keterangannya.

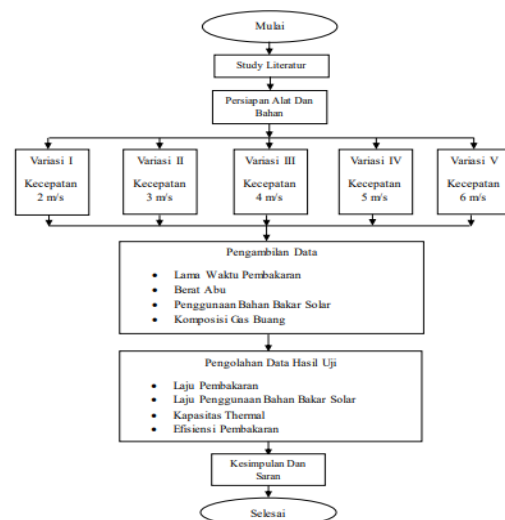


**Gambar 1. Skematik Insinerator Sampah Residu**

Keterangan:

- Primary Chamber*
- Fuel Feeder*
- Secondary Chamber*
- Cyclone*
- Alat Penukar Panas
- Cerobong Asap
- ID Fan*
- Tabung Arang Aktif
- Blower 1*
- Blower 2*

Berikut merupakan diagram alir pada proses penelitian insinerator sampah residu.



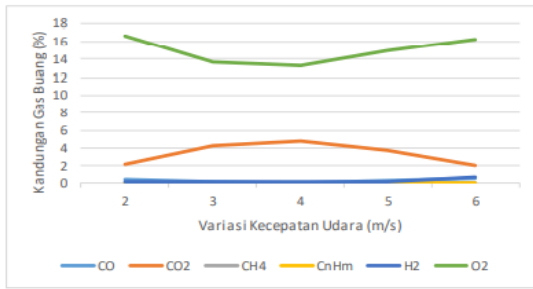
**Gambar 2. Diagram Alir Penelitian**

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1. Kandungan Gas Buang



Berikut merupakan grafik kandungan gas buang yang didapat melalui *gas analyzer*.



**Gambar 3. Grafik kandungan gas buang**

Berdasarkan grafik tersebut, didapat data hasil *gas analyzer* yang menyatakan persentase kandungan emisi gas buang dari setiap variasi kecepatan udara memperoleh hasil yang cukup kecil yaitu CO (0,612 %), CH4 (0,06 %), CnHm (0 %) dan CO2 (4,79%) atau bisa dikatakan emisi gas buang yang dihasilkan tidak melebihi 5%. Selain itu pada grafik yang ditunjukkan pada variasi kecepatan udara 2 m/s dan 6 m/s mengalami proses pembakaran yang tidak pada kondisi ideal yang disebabkan oleh kandungan oksigen kurang atau melebihi kebutuhan pada proses pembakaran sehingga menyebabkan pembakaran tidak sempurna membakar habis bahan bakar dan membuat semua bahan bakar tidak menjadi CO<sub>2</sub>.

**4.2. Laju Pembakaran**

Laju pembakaran dihitung melalui perbandingan antara selisih massa bahan bakar sebelum dilakukan proses insinerasi hingga proses insinerasi selesai dan menghasilkan massa abu sisa pembakaran, dengan waktu proses pembakaran.

Dari hasil pengujian dan perhitungan yang dilakukan, maka dapat ditampilkan data pada tabel berikut:

**Tabel 1. Tabel Laju Pembakaran**

Variasi kecepatan udara (m/s)	Massa abu sampah residu (m <sub>abu</sub> ) (kg)	Laju Pembakaran (B <sub>bt</sub> ) (kg/jam)
2	3,34	5,007
3	2,81	5,406
4	2,80	5,413
5	2,95	5,300
6	3,11	5,180

Berdasarkan gambar 3., dari setiap variabel mengalami grafik laju pembakaran yang naik dan turun. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor yaitu kecepatan aliran udara, kadar air, *volatile matter*, ukuran partikel, dan temperatur pembakaran[8].



**Gambar 3. Grafik Laju Pembakaran**

Dari grafik laju pembakaran diatas dapat dinyatakan bahwa variasi kecepatan udara 4 m/s merupakan nilai laju pembakaran yang terbaik dari seluruh variabel kecepatan dikarenakan dalam 1,33 jam alat insinerator mampu mereduksi massa bahan bakar sampah residu sebesar 5,413 kg.

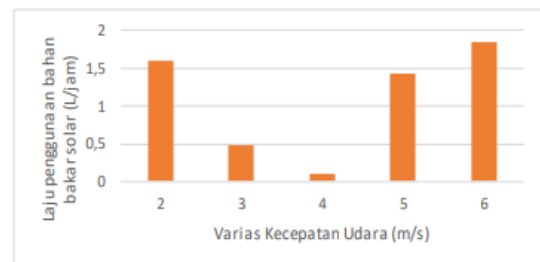
**4.3. Laju Penggunaan Bahan Bakar Solar**

Pengolahan data laju penggunaan bahan bakar solar diketahui untuk mencari pengaruh kecepatan udara pembakaran yang dihasilkan blower primer pada reaktor insinerator terhadap penggunaan bahan bakar solar selama proses insinerasi. Laju penggunaan bahan bakar solar dapat diketahui dengan mengukur volume solar sebelum dan sesudah proses pembakaran yang kemudian dikonversikan menjadi satuan liter. Berikut merupakan tabel data yang didapat dari perhitungan laju penggunaan bahan bakar solar.

**Tabel 2. Tabel Laju Penggunaan Bahan Bakar Solar**

Variasi kecepatan udara (m/s)	Volume solar yang digunakan (L)	Laju penggunaan bahan bakar solar (L/jam)
2	2,12	1,593
3	0,63	0,473
4	0,14	0,105
5	1,90	1,428
6	2,45	1,842

Dari tabel diatas dapat ditampilkan grafik sebagai berikut.



**Gambar 4. Grafik Laju Penggunaan Bahan Bakar Solar**

Berdasarkan grafik laju penggunaan bahan bakar solar diatas, menunjukkan grafik

yang beragam dikarenakan setiap perbandingan udara dengan bahan bakar menghasilkan pembakaran yang berbeda-beda sehingga pembakaran yang kurang sempurna dapat mempengaruhi lama nyala api dan konsumsi bahan bakar pada proses insinerasi.

Dari grafik laju penggunaan bahan bakar solar diatas, dapat dinyatakan bahwa variabel kecepatan udara yang paling baik terjadi pada kecepatan udara 4 m/s dikarenakan bahan bakar solar yang digunakan selama 1,33 jam proses insinerasi sebanyak 0,105 liter.

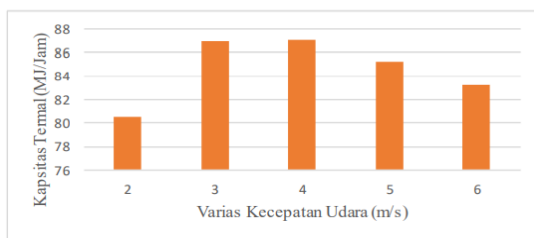
#### 4.4. Kapasitas Termal

Pengolahan data kapasitas termal dilakukan untuk mengetahui kapasitas termal pada bahanbakar sampah residu selama insinerasi didalam reaktor insinerator berlangsung. Berikut merupakan tabel dari hasil perhitungan kapasitas termal.

**Tabel 3. Tabel Kapasitas Termal**

Variasi kecepatan udara (m/s)	Laju Pembakaran (Bbt) (kg/jam)	Kapasitas Termal (C) (MJ/Jam)
2	5,007	80,527
3	5,406	86,944
4	5,413	87,057
5	5,300	85,239
6	5,180	83,309

Dari data tabel 3., maka dapat ditampilkan grafik kapasitas termal sebagai berikut.



**Gambar 5. Grafik Kapasitas Termal**

Berdasarkan grafik kapasitas termal, dapat disimpulkan bahwa variabel kecepatan udara dengan kapasitas termal terbaik yaitu variasi kecepatan udara 4 m/s dengan kapasitas termal sebesar 87,057 MJ/jam. Faktor kecepatan aliran udara pada proses pembakaran mempengaruhi nilai kalor pada bahan bakar sehingga juga berdampak terhadap kapasitas termal pada proses insinerasi.

#### 4.5. Efisiensi Pembakaran

Pengolahan data efisiensi pembakaran dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kalor yang berguna dalam proses insinerasi dengan menghitung perbandingan kalor yang terpakai dengan kalor yang masuk kedalam proses pembakaran. Berikut merupakan hasil dari perhitungan efisiensi pembakaran pada proses insinerasi.

**Tabel 4. Tabel Efisiensi Pembakaran**

Variasi kecepatan udara (m/s)	Efisiensi pembakaran (%)
2	84,2709
3	90,9255
4	95,1603
5	78,8263
6	41,9237

Dari data efisiensi pembakaran yang didapat, maka dapat ditampilkan grafik efisiensi pembakaran sebagai berikut.



**Gambar 6. Grafik Efisiensi Pembakaran**

Berdasarkan gambar 4 di atas, data efisiensi pembakaran yang didapat, menunjukkan bahwa variasi kecepatan udara 4 m/s memiliki efisiensi pembakaran yang sangat baik dengan hasil efisiensi pembakaran sebesar 95,16 %. Hal ini menyatakan bahwa pada variasi kecepatan udara 4 m/s, energi panas yang dikeluarkan pada proses pembakaran didalam rektor insinerator hanya terbuang sedikit.

### 5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan terhadap pengaruh variasi kecepatan udara pembakaran terhadap performansi sampah residu, dapat disimpulkan bahwa:

- Analisa gas buang yang dihasilkan pada proses insinerasi menunjukkan bahwa gas buang yang tercipta dapat dikatakan baik bagi udara dan lingkungan sekitar dikarenakan unsur CO, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, dan CnHm yang terkandung didalam gas buang tidak lebih dari 4,79 %.
- Berdasarkan seluruh indikator performansi insinerator sampah residu yang didapat pada penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa variasi kecepatan udara 4 m/s merupakan variasi kecepatan udara yang paling baik dikarenakan kandungan gas buang yang menunjukkan proses pembakaran yang baik, laju pembakaran tertinggi (5,413 kg/Jam), laju penggunaan bahan bakar solar yang paling rendah (0,105 L/jam), kapasitas termal tertinggi (87,057 MJ/jam), serta efisiensi pembakaran yang baik dan terbilang tinggi (95,16031 %). Selain itu variasi kecepatan udara 4 m/s juga mendekati

kecepatan udara yang dibutuhkan pada AFR stoikiometri (campuran ideal) yaitu sebesar 4,315 m/s sehingga insinerator sampah residu menghasilkan pembakaran sempurna.

Campuran Biji Nyamplung (Calophyllum Inophyllum) Dan Abu Sekam Padi". Dinamika Teknik Mesin

#### Daftar Pustaka

- [1] Rhohman F., Ilham M.M., 2019, *Analisa Dan Evaluasi Rancang Bangun Insinerator Sederhana Dalam Mengelola Sampah Rumah Tangga*, Jurnal Mesin Nusantara Program Studi Teknik Mesin, Universitas Nusantara Pgri, Kediri.
- [2] Partha C. G. I., 2012, *Penggunaan Sampah Organik Sebagai Pembangkit Listrik Di Tpa Suwung – Denpasar*, Majalah Ilmiah Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Udayana, Bali.
- [3] Rosmaini, 2014, *Rancang Bangun Alat Incinerator Untuk Pembakaran Limbah Infeksius Menggunakan Metode Primary dan Secondary Chamber*, Tugas Akhir Program Studi Teknik Energi, Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang.
- [4] Sukamta, Wiranata A., Thoharuddin, 2017, *Pembuatan Alat Incinerator Limbah Padat Medis Skala Kecil*, Jurnal Ilmiah Semesta Teknika
- [5] Tenaya I.G.N.P., Hardiana M., 2011, *Pengaruh Air Fuel Ratio Terhadap Emisi Gas Buang Berbahan Bakar Lpg Pada Ruang Bakar Model Helle-Shaw Cell*, Jurnal Ilmiah Teknik Mesin.
- [6] Prasetiono A.D., 2016), *Pengujian Alat Incinerator Untuk Pengolahan Limbah Padat Rumah Sakit Tanpa Menggunakan Bahan Bakar Minyak dan Gas*, Dk, vol. 53.
- [7] Prabawa P.A., 2010, *Pengaruh Tekanan Udara Terhadap Sifat Pembakaran Minyak Residu Menggunakan Vaporizing Burner Untuk Peleburan Aluminium*, Skripsi Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- [8] Almu, M. A., Syahrul, S., & Padang, Y. A. (2014). "Analisa Nilai Kalor Dan Laju Pembakaran Pada Briket



**Fadhil Alfarel Wisprantoko** menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana, Program Studi Teknik Mesin, pada tahun 2021

Bidang penelitian yang menjadi konsentrasi adalah topik pembahasan konversi energi

# Pengaruh Campuran Metanol Dengan Bahan Bakar Premium Terhadap Viskositas Kinematis Dan Total Base Number Pelumas SAE10W-40 Pada Yamaha Lexi 125 CC

Mordekhai Yudha Prakasa, Ainul Ghurri Dan Tjokorda Gde Tirta Nindhia  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

Penggunaan kendaraan bermotor yang semakin banyak menimbulkan krisis bahan bakar fosil. Krisis ini timbul karena proses pembentukan bahan bakar fosil membutuhkan waktu yang lama. Melihat situasi tersebut dibutuhkan bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar fosil. Solusinya menggunakan metanol sebagai bahan bakar alternatif. Jenis bahan bakar yang digunakan pada kendaraan bermotor mempengaruhi karakteristik dari oli pelumas kendaraan bermotor yang digunakan. Demi menjaga agar performa mesin kendaraan dalam kondisi baik diperlukan pengecekan kondisi pelumas dari segi viskositas dan total base number yang terkandung dalam pelumas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh campuran metanol dengan premium sebagai bahan bakar sepeda motor Yamaha Lexi 125 CC terhadap viskositas dan total base number pelumas SAE10W-40. Bahan bakar yang digunakan sebagai bahan penelitian adalah pertamax dan bahan bakar campuran premium metanol yaitu M15 dan M20. Jarak tempuh yang digunakan untuk masing-masing bahan bakar adalah 2000 kilometer dengan pelumas yang sama yaitu SAE10W-40. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penurunan viskositas kinematis terkecil didapatkan ketika menggunakan bahan bakar M15 sebesar 38,59 centistoke dan penurunan total base number terkecil didapatkan ketika menggunakan bahan bakar pertamax sebesar 0,71 mg KOH/g.

*Kata Kunci:* Metanol, viskositas dan total base number

## Abstract

The use of motorized vehicles is increasingly causing a fossil fuel crisis. This crisis arises because the process of forming fossil fuels takes a long time. Seeing this situation, alternative fuels are needed to replace fossil fuels. The solution uses methanol as an alternative fuel. The type of fuel used in motor vehicles affects the characteristics of the motor vehicle lubricating oil used. In order to keep the vehicle engine performance in good condition, it is necessary to check the condition of the lubricant in terms of viscosity and the total base number contained in the lubricant. This study aims to determine the effect of a mixture of methanol and premium as a fuel for Yamaha Lexi 125 CC motorcycles on the viscosity and total base number of SAE10W-40 lubricant. The fuel used as research material is Pertamax and a premium blend of methanol, namely M15 and M20. The mileage used for each fuel is 2000 kilometers with the same lubricant, namely SAE10W 40. The test results show that the smallest decrease in kinematic viscosity is obtained when using M15 fuel of 38.59 centistoke and the smallest decrease in total base number is obtained when using the fuel. Pertamax burn is 0.71 mg KOH/g.

*Keywords:* Methanol, viscosity and total base number

## 1. Pendahuluan

Kemajuan teknologi yang semakin pesat memberi dampak yang begitu besar terhadap pola kehidupan masyarakat global, salah satunya pada bidang otomotif. Faktor yang mendorong terjadinya perkembangan tersebut salah satunya adalah krisis bahan bakar fosil. Krisis ini menyebabkan bahan bakar alternatif mulai dikembangkan untuk digunakan sebagai pengganti bahan bakar fosil.

Kendaraan bermotor khususnya sepeda motor dengan rasio kompresi mesin yang tinggi membutuhkan bahan bakar dengan nilai oktan yang tinggi untuk menunjang performa mesin dengan maksimal. Metanol merupakan salah satu jenis bahan bakar alternatif yang dapat digunakan untuk bahan bakar kendaraan bermotor. Metanol memiliki nilai oktan yang tinggi sehingga mampu untuk meningkatkan performa kendaraan dengan rasio kompresi mesin yang tinggi. Selain dari sisi bahan

bakar komponen utama untuk menunjang performa mesin adalah minyak pelumas. Pelumasan ini sangat penting dan sangat diperlukan untuk mencegah terjadinya aus dan korosi sebagai akibat gerakan yang menimbulkan gesekan pada komponen-komponen di dalam mesin. Selain menjaga agar komponen-komponen dalam mesin tidak aus, pelumasan juga berfungsi untuk mendinginkan komponen-komponen mesin agar performa mesin tetap terjaga.

Agar dapat menjalankan fungsinya dengan baik, pelumas harus memiliki sifat viskositas atau kekentalan yang memadai serta tahan terhadap panas dan oksidasi. Kekentalan merupakan salah satu karakteristik dari pelumas yang paling penting karena berkaitan dengan ketebalan pelumas atau seberapa besar kemampuannya untuk mengalir. Kekentalan pelumas erat kaitannya dengan sejauh mana pelumas berfungsi sebagai pelumas sekaligus pelindung dari

benturan dan gesekan antar permukaan logam pada komponen-komponen kendaraan bermotor. Semakin kental pelumas, maka lapisan yang terbentuk menjadi lebih kental. Lapisan halus pada pelumas kental memberi kemampuan ekstra menyapu atau membersihkan permukaan logam yang terlumasi. Sebaliknya pelumas yang terlalu tebal akan menghambat pelumasan sehingga terganggunya proses pelumasan ke komponen yang dibutuhkan [1].

TBN merupakan total angka basa yang terkandung dalam pelumas untuk menetralkan reaksi oksidasi berupa asam pada komponen-komponen mesin ketika mesin beroperasi. Sebagaimana diketahui bahwa methanol sendiri mampu meningkatkan nilai oktan dari suatu jenis bahan bakar. Meningkatnya nilai oktan pada suatu jenis bahan bakar berarti bahan bakar tersebut memiliki kemampuan yang lebih tinggi terhadap menahan tekanan yang diberikan.

Proses pembakaran yang terjadi pada ruang bakar menggerakkan piston yang menyebabkan komponen-komponen pada mesin bergerak dan suhu mesin menjadi meningkat. Pada proses pembakaran tentunya terdapat sisa-sisa bahan bakar yang tidak terbakar. Sisa bahan bakar yang tidak terbakar dalam ruang bakar ini akan menempel pada permukaan ruang bakar yang selanjutnya akan tercampur kedalam pelumas pada saat oli melumasi komponen mesin. Selain itu proses pembakaran dalam ruang bakar menghasilkan sulfur atau belerang yang dapat teroksidasi menjadi sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>).

Sulfur dioksida ini berbahaya karena bersifat asam dan dapat menimbulkan korosi pada komponen mesin. Meningkatnya suhu mesin dan tercampurnya sisa bahan bakar kedalam oli serta kandungan (SO<sub>2</sub>) hasil dari proses pembakaran dapat merusak kualitas oli pelumas pada sektor viskositas maupun TBN oli pelumas tersebut. Dari studi kasus tersebut maka dilakukanlah sebuah penelitian yang bertujuan untuk menganalisis dan mengetahui pengaruh campuran bahan bakar metanol terhadap viskositas minyak pelumas dan nilai TBN (*Total Base number*) minyak pelumas SAE10W-40 pada kendaraan Yamaha Lexi 125cc.

## 2. Landasan Teori

### 2.1. Metanol

Metanol dikenal sebagai metil alkohol, *wood alcohol* atau spirtus, merupakan senyawa kimia dengan rumus kimia CH<sub>3</sub>OH. Metanol merupakan bentuk alkohol paling sederhana. Berat molekul metanol adalah 32.04 g/mol. *Melting point* atau titik leleh metanol berada diangka -97°C. *Boiling point* atau titik didih metanol berada diangka 64.7°C. Melihat spesifikasi tersebut pada keadaan atmosfer metanol berbentuk cairan yang ringan, mudah menguap, tidak berwarna, mudah terbakar, dan beracun dengan bau yang khas (berbau lebih ringan dari etanol). Metanol digunakan sebagai bahan pendingin anti beku, pelarut, bahan bakar, dan

sebagai bahan additif bagi etanol industri. Penggunaan metanol sebagai bahan bakar memiliki keunggulan yaitu metanol memiliki nilai oktan yang tinggi. Nilai oktan yang tinggi ini tentunya diperlukan oleh mesin-pesin dengan rasio kompresi yang tinggi agar tercipta pembakaran sempurna sehingga performa mesin yang maksimal dapat tercapai.

### 2.2. Bilangan Oktan

Bilangan oktan merupakan angka yang menunjukkan besar tekanan yang bisa diterima oleh suatu bahan bakar sebelum bahan bakar tersebut terbakar secara spontan. Nilai oktan pada bahan bakar yang umum dikenal secara global adalah nilai *Research Octane Number* (RON). Di dalam mesin, campuran udara dan bahan bakar (dalam bentuk gas) ditekan oleh piston dengan tekanan yang begitu besar hingga volume yang sangat kecil dan kemudian dibakar oleh percikan api yang dihasilkan dari busi.

Besarnya tekanan menyebabkan temperatur campuran udara dan bahan bakar yang berbentuk gas tadi mengalami kenaikan sehingga memungkinkan campuran udara dan bahan bakar tersebut terbakar secara spontan sebelum percikan api dari busi menyala. Jika campuran bahan bakar dan udara sudah terbakar secara spontan sebelum percikan api dari busi menyala, maka *knocking* atau ketukan pada mesin akan terjadi. *Knocking* ini menyebabkan mesin akan cepat rusak.

### 2.3. Rasio Kompresi Mesin Piston

Becara umum rasio kompresi didefinisikan sebagai perbandingan volume ruang pembakaran antara kapasitas terbesar ruang pembakaran dengan kapasitas terkecilnya. Nilai oktan bahan bakar dan rasio kompresi yang diperlukan ditunjukkan dalam tabel 1.

**Tabel 1. Nilai oktan bakar dan rasio kompresi yang diperlukan (Sumber : Nusantara Sakti Group. 2020)**

Jenis Bahan Bakar	Nilai Oktan (RON)	Kompresi Rasio
Premium	88	7-8 : 1
Pertalite	90	9-10 : 1
Pertamax	92	10-11 : 1
Pertamax Racing	100	> 13 : 1
Pertamax Turbo	95	11-12 : 1
Shell Super	92	10-11 : 1
Shell V-Power	95	11-12 : 1
Performance 92	92	10-11 : 1
Performance 95	95	11-12 : 1

Pada mesin piston rasio kompresi yang dimaksud adalah rasio antara volume ruang bakar pada saat piston berada pada titik mati bawah (TMB) dengan volume ruang bakar pada saat

piston berada pada titik mati atas (TMA). Secara teoritis dapat dirumuskan dalam persamaan berikut ini:

$$CR = \frac{VL + VS}{VS} \quad (1)$$

CR = *Compression Ratio*

VL = Volume Langkah

VS = Volume Sisa

## 2.4. Viskositas

Viskositas merupakan pengukuran dari ketahanan fluida terhadap laju deformasi tertentu. Pengertian yang lain dari viskositas adalah ukuran yang menyatakan kekentalan dari suatu cairan atau fluida. Kekentalan adalah sifat dari cairan yang berhubungan erat dengan hambatan supaya mengalir. Secara sederhana, semakin rendah viskositas suatu fluida maka semakin besar juga pergerakan fluida tersebut [2]. Viskositas dibedakan menjadi dua jenis yaitu viskositas dinamis dan viskositas kinematis.

Viskositas dinamis merupakan sebuah ukuran resistensi internal. Viskositas dinamis ini adalah gaya tangensial per satuan luas yang dibutuhkan agar bisa atau dapat memindahkan suatu bidang horisontal ke sebuah bidang lainnya, di dalam unit velositas (*velocity*), pada saat mempertahankan jarak di dalam sebuah cairan. Persamaan Viskositas Dinamis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$T = \mu \left( \frac{dc}{dy} \right) \quad (2)$$

T = Tegangan geser (N/m<sup>2</sup>)

μ = Viskositas dinamis (Ns/m<sup>2</sup>)

dc = satuan kecepatan (m/s)

dy = satuan jarak antara (m)

Viskositas Kinematis merupakan suatu rasio antara viskositas absolut untuk kepadatan (densitas) dengan jumlah dimana tidak terdapat kekuatan yang terlibat. Persamaan Viskositas Dinamis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$v = \mu / e \quad (3)$$

v = Viskositas kinematis (m<sup>2</sup>/s)

μ = viskositas absolut / dinamis (Ns/m<sup>2</sup>)

e = Densitas (kg/m<sup>3</sup>)

## 2.5. Total Base Number

*Total Base Number* (TBN) merupakan pengukuran cadangan alkalinitas oli, yang berarti kemampuannya untuk menetralkan asam. TBN dapat diartikan sebagai zat aditif yang ditambahkan pada pelumas untuk menetralkan asam yang terbentuk akibat proses pembakaran [3]. Kuantitas yang dihasilkan ditentukan sebagai mg KOH / (gram pelumas). Faktor yang mempengaruhi penurunan nilai Total Base Number adalah temperatur mesin, proses pembakaran dan jenis bahan bakar [4].

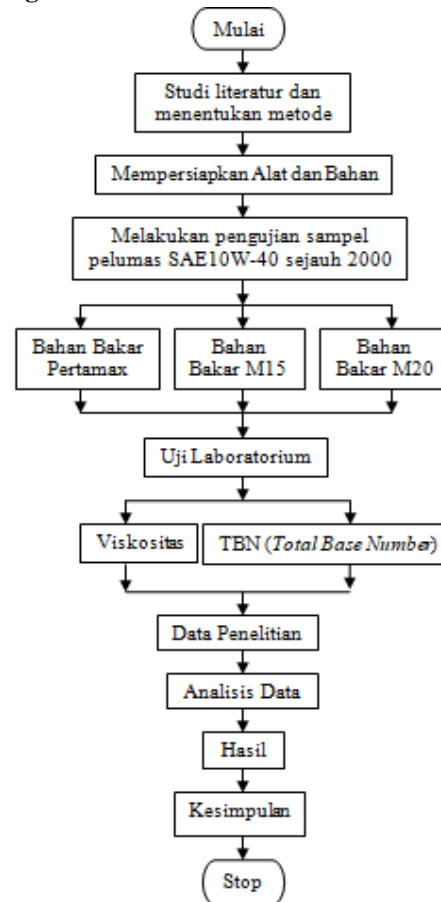
## 3. Metode Uji

### 3.1. Alat dan Bahan

Peralatan dan bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya sebagai berikut:

1. Sepeda Motor Yamaha Lexi
2. Viskometer Brookfield
3. TBN Analyzer
4. Pelumas Yamalube SAE10W-40
5. Thermometer Gun
6. Gelas Ukur
7. Bahan Bakar yaitu M0 (Pertamax 100%), M15 (Premium 85%, metanol 15%) dan M20 (Premium 80%, metanol 20%).

### 3.2. Diagram Alir



Gambar 1. Diagram alir penelitian

### 3.3. Pengujian Viskositas

Pengujian Viskositas bertujuan untuk mengetahui nilai viskositas pada pelumas SAE10W-40 setelah digunakan sejauh 2000 km. Adapun prosedur pengujiannya sebagai berikut:

1. Memasukan bahan bakar kedalam sepeda motor.
2. Memasukan pelumas motor dengan pelumas jenis SAE10W-40.
3. Menjalankan sepeda motor sejauh 2000 km dengan melakukan pengujian setiap 500 km.
4. Mencatat kelembaban udara di sekitar lokasi pengujian dan temperatur mesin selama pengujian berlangsung.
5. Mematikan mesin kendaraan dan menunggu temperatur mesin kembali dingin setiap selesai dioperasikan.

- Mengeluarkan pelumas SAE10W-40 dari dalam mesin untuk kemudian dilakukan uji laboratorium agar memperoleh nilai viskositasnya.
- Kembali ke tahap 1 dengan mengganti jenis bakar yaitu menggunakan variasi bahan bakar M0, M15, hingga ke bahan bakar terakhir yaitu M20.

### 3.4. Pengujian Total Base Number

Pengujian TBN bertujuan untuk mengetahui kadar zat aditif pada pelumas SAE10W-40 setelah digunakan sejauh 2000 km menggunakan 3 jenis bahan bakar yaitu M0, M15 dan M20 Adapun prosedur pengujiannya sebagai berikut:

- Memasukkan bahan bakar kedalam sepeda motor.
- Memasukkan pelumas motor dengan pelumas jenis SAE10W-40.
- Menjalankan sepeda motor hingga mencapai total jarak tempuh 2000 km.
- Mencatat kelembaban udara sekitar lokasi pengujian dan temperatur mesin selama pengujian berlangsung.
- Mematikan mesin kendaraan dan menunggu temperatur mesin kembali dingin setiap selesai dioperasikan.
- Mengeluarkan pelumas SAE10W-40 dari dalam mesin setelah menempuh jarak total 2000 km untuk kemudian dilakukan uji laboratorium agar memperoleh nilai kadar TBN.
- Kembali ke tahap 1 dengan mengganti jenis bakar yaitu menggunakan variasi bahan bakar M15 dan M20.

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1. Hasil Uji Viskositas Dinamis

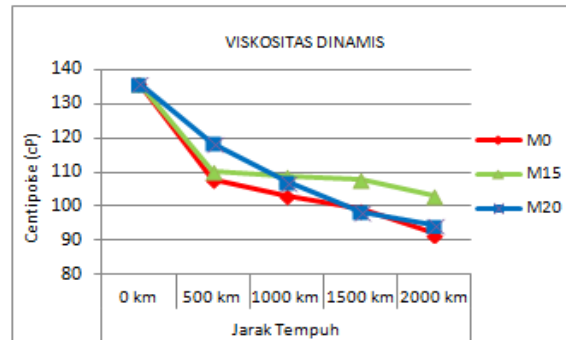
Data pengujian viskositas dinamis ini didapat dengan cara mengukur sampel oli menggunakan Viscometer Brookfield. Angka yang ditunjukkan oleh Viscometer Brookfield kemudian dikalikan dengan spindle factor. Tabel 2 menunjukkan nilai viskositas dinamis.

**Tabel 2. Data viskositas dinamis**

Jenis Bahan Bakar	Viskositas Dinamis (cP)				
	0 km	500 km	1000 km	1500 km	2000 km
M0	136	108	103,2	99,2	92
M15	136	110,4	108,8	108	103,2
M20	136	118,4	107,2	98,4	94,4

Tabel dan grafik diatas menunjukkan hasil Viskositas Dinamis Pelumas SAE10W-40 dengan berbagai variasi bahan bakar yang digunakan. Berdasarkan tabel dan grafik diatas dapat diketahui bahwa Viskositas Dinamis mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya jarak pemakaian. Penambahan metanol ini tidak berakibat buruk terhadap degradasi Viskositas Dinamis karena

tingkat penurunannya tidak lebih buruk dibandingkan menggunakan bahan bakar standar yaitu Pertamina.



**Grafik 1. Hasil pengujian nilai viskositas dinamis**

Viskositas Dinamis oli pelumas SAE10W-40 mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya jarak tempuh kendaraan bermotor. Penurunan nilai Viskositas Dinamis terbesar dialami oleh bahan bakar M0 (Pertamax 100%) yaitu sebesar 44 centipoise. Sedangkan pada jenis bahan bakar campuran yang mengalami penurunan Viskositas Dinamis terbesar adalah bahan bakar M20 (Metanol 20% Premium 80%) sebesar 41,6 centipoise. Bahan bakar yang mampu menjaga kestabilan nilai Viskositas Dinamis terbaik dengan menunjukkan penurunan Viskositas Dinamis paling kecil adalah bahan bakar M15 (Metanol 15% Premium 85%) dengan penurunan sebesar 32,8 centipoise.

### 4.2. Hasil Uji Viskositas Kinematis

Pengukuran Viskositas Kinematis pada penelitian ini dilakukan dengan cara membagi hasil dari Viskositas Dinamis dengan massa jenis oli pelumas yang digunakan yaitu oli pelumas SAE10W-40. Mengukur massa jenis oli pelumas dapat dilakukan dengan cara membagi berat bersih dari oli pelumas dibagi dengan volumenya. Alat yang digunakan untuk mengukur berat bersih dari oli pelumas menggunakan timbangan gram NANKAI dengan cara menimbang berat gelas ukur yang terisi pelumas dengan berat gelas ukur kosong. Berat bersih oli pelumas sebesar 85 gram. Volume oli pelumas yang digunakan adalah 100 ml. Perhitungan massa jenis adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{m}{v} \\ &= \frac{(138 - 53)\text{gr}}{100 \text{ ml}} \\ &= 0,85 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \\ &= 850 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

m = massa oli (gram)  
v = volume oli (mililiter)

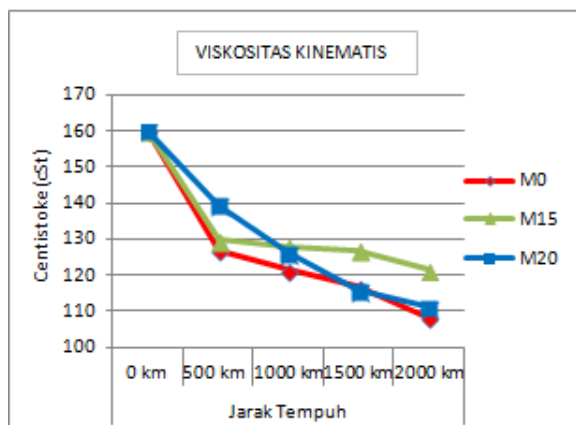
Setelah selesai melakukan beberapa perhitungan untuk menentukan massa jenis oli pelumas SAE10W-40 maka dapat ditentukan Viskositas Kinematis dengan cara membagi hasil Viskositas Dinamis dengan massa jenis oli pelumas

tersebut. Dibawah ini merupakan hasil perhitungan Viskositas Kinematis serta data yang diperoleh dalam tabel 3.

$$V = \frac{\text{Viskositas Dinamis (Ns/m}^2\text{)}}{\text{Massa Jenis Oli (kg/m}^3\text{)}} \\ = \frac{0,136 \text{ Ns/m}^2}{850 \text{ kg/m}^3} \\ = 0,00016 \text{ m}^2/\text{s} = 160 \text{ cSt}$$

**Tabel 3. Data viskositas kinematis**

Jenis Bahan Bakar	Viskositas Kinematis (cSt)				
	0 km	500 km	1000 km	1500 km	2000 km
M0	160	127,05	121,41	116,7	108,23
M15	160	129,88	128	127,05	121,41
M20	160	139,29	126,11	115,76	111,05



**Grafik 2. Hasil pengujian nilai viskositas kinematis**

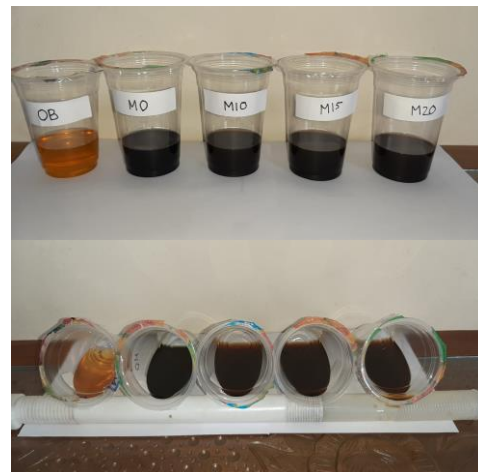
Tabel dan grafik diatas menunjukkan hasil Viskositas Kinematis Pelumas SAE10W-40 dengan berbagai variasi bahan bakar yang digunakan. Berdasarkan tabel dan grafik diatas dapat diketahui bahwa Viskositas kinematis mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya jarak pemakaian. Penambahan metanol ini tidak berakibat buruk terhadap degradasi Viskositas Kinematis karena tingkat penurunannya tidak lebih buruk dibandingkan menggunakan bahan bakar standar yaitu Pertamina.

Hasil dari pengujian nilai Viskositas Kinematis setelah dilakukan perhitungan berdasarkan hasil Viskositas Dinamis menunjukkan bahwa nilai Viskositas Kinematis mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya jarak tempuh kendaraan bermotor. Penurunan nilai Viskositas Kinematis terbesar dialami oleh bahan bakar M0 (Pertamax 100%) yaitu sebesar 51,77 centistoke. Sedangkan pada jenis bahan bakar campuran yang mengalami penurunan Viskositas Kinematis terbesar adalah bahan bakar M20 (Metanol 20% Premium 80%) sebesar 48,95 centistoke.

### 4.3. Hasil Uji Total Base Number

Pada penelitian ini untuk pengujian *Total Base Number* penulis menggunakan pelumas SAE10W-40 dan tiga variasi bahan bakar yaitu M0 (Pertamax 100%), M15 (Metanol 15% Premium 85%), dan M20 (Metanol 20% Premium 80%) dengan penggantian oli baru yang sejenis dan merk yang sama setiap pergantian bahan bakar.

Pengujian dilakukan dengan mengoperasikan kendaraan sejauh 2000 km. Sampel yang sudah jadi berupa sampel oli baru, sampel oli M0, sampel oli M15, dan sampel oli M20. Pengujian pertama dilakukan pengamatan terhadap kondisi fisik oli pelumas.



**Gambar 2. Kondisi Fisik Oli Pelumas**

Kondisi fisik oli pelumas dengan menggunakan bahan bakar M0 berwarna hitam pekat sedikit hijau kebiruan, sedangkan untuk bahan bakar M10, M15, dan M20 memiliki warna yang serupa yaitu kecoklatan namun tidak terlalu pekat. Perbedaan warna tersebut mengindikasikan adanya dilusi atau kontaminasi sisa bahan bakar yang tidak terbakar pada saat proses pembakaran kedalam oli pelumas. Setelah dilakukan pengamatan kondisi fisik oli pelumas, kemudian dilakukan uji laboratorium di PT. Sucofindo. Berikut adalah hasil nilai *Total Base Number* setelah selesai uji Laboratorium di PT. Sucofindo menggunakan metode ASTM D2896-15. Tabel 4 berikut merupakan data hasil pengujian *Total Base Number* di PT. Sucofindo.

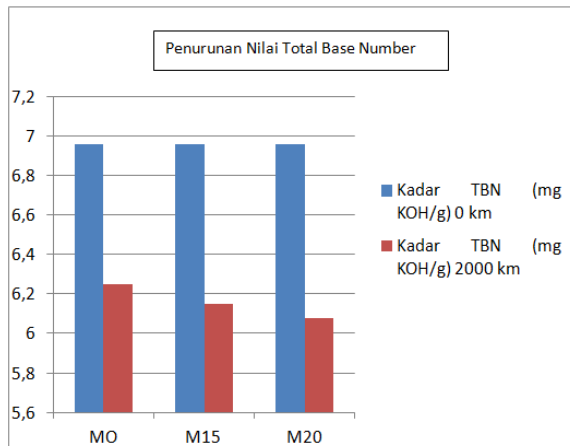
**Tabel 4. Data viskositas kinematis**

NO	Jenis Bahan Bakar	Kadar TBN (mg KOH/g)	
		0 km	2000 km
1	M0	6,96	6,25
2	M15	6,96	6,15
3	M20	6,96	6,08

Pada tabel dan grafik tersebut menunjukkan hasil *Total Base Number* dari masing-masing jenis bahan bakar. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa nilai *Total Base Number* oli pelumas mengalami



penurunan seiring dengan bertambahnya jarak pemakaian.



**Grafik 3. Total base number**

Penurunan terbesar terjadi pada bahan bakar M20 (Metanol 20% Premium 80%) yaitu sebesar 0,88 mg KOH/g, pada bahan bakar M15 (Metanol 15% Premium 80%) mengalami penurunan sebesar 0,81 mg KOH/g, sedangkan pada bahan bakar M0 (Pertamax 100%) hanya mengalami penurunan sebesar 0,71 mg KOH/g.

Penurunan *Total Base Number* yang lebih besar yang terjadi ketika menggunakan metanol mengindikasikan bahwa penggunaan metanol sebagai bahan bakar mampu menimbulkan korosi yang lebih cepat terhadap komponen-komponen kendaraan bermotor dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar standar tanpa metanol. Penggunaan bahan bakar alkohol salah satunya seperti etanol mempercepat korosi tangki bahan bakar [5].

Hal ini akan semakin buruk untuk kondisi mesin apabila oli pelumas yang digunakan masih sama dengan oli pelumas yang digunakan untuk bahan bakar standar. Oleh karena itu diperlukan pelumas yang memiliki kadar *Total Base Number* yang lebih tinggi jika menggunakan bahan bakar metanol.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan proses pengujian dan pengambilan data serta analisis data yang telah dilakukan maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Penurunan nilai Viskositas Dinamis dan Viskositas Kinematis paling kecil diperoleh dengan menggunakan bahan bakar campuran yaitu bahan bakar M15 (Metanol 15% Premium 85%) dengan penurunan sebesar 32,8 centipoise dan 38,59 centistoke. Hal ini membuktikan bahwa penggunaan metanol sebagai campuran bahan bakar memberikan dampak lebih baik dari segi viskositas.
2. Kadar total base number mengalami penurunan terbesar ketika menggunakan bahan bakar M20 (Metanol 20% Premium 80%) yaitu sebesar 0,88 mg KOH/g sedangkan penurunan terkecil

ketika menggunakan bahan bakar M0 (Pertamax 100%) yaitu sebesar 0,71 mg KOH/g. Hal ini membuktikan bahwa penggunaan metanol sebagai campuran bahan bakar memberikan dampak yang kurang baik dari segi nilai total base number.

## Daftar Pustaka

- [1] Audu A.A., Ibe O.L., 2011, *The Effect of Additive on The Viscosity Index of Lubricating Oil (engine oil)*, International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST), 3, 1864-1869.
- [2] Symon K.R., 1971, *Mechanics*. Minneapolis: Addison-Wesley.
- [3] Alirejo M.S., Basino, Daging I.K., Martin, Siahaan J.P., 2018, *Kajian Penerapan Viscositas Minyak Pelumas Pada Mesin Penggerak Utama Kapal Perikanan di PT. Hasil Laut Sejati*, Jurnal Kelautan dan Perikanan Terapan, 1(1), 30-37.
- [4] Fajar R., Yubaidah S., 2007, *Penentuan Kualitas Pelumasan Mesin*. MESIN, 9, 11-21.
- [5] Fahmi L., Setiyo M., 2015, *Pengaruh Campuran Ethanol Pada Laju Korosi*. Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2015, 5.



**Mordekhai Yudha Prakasa** menyelesaikan pendidikan S1 di Universitas Udayana, Program Studi Teknik Mesin, Tahun 2021.

Bidang penelitian yang diminati adalah bidang konversi energi

# Pengaruh Variasi Jenis Busi dan Bahan Bakar M20 (Premium 80%-Metanol 20%) Terhadap Performa Sepeda Motor Yamaha Nmax 155

Iqbal Hartanto, Ainul Ghurri, dan Tjokorda Gde Tirta Nindhia  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit, Jimbaran Bali

## Abstrak

Agar penggunaan bahan bakar fosil dapat berkurang disaat jumlah kendaraan sepeda motor meningkat, maka perlunya mencari bahan bakar terbarukan dan mudah didapatkan salah satunya adalah bahan bakar campuran Premium 80%-Metanol 20% (M20). Selain penggunaan bahan bakar yang harus kita perhatikan, busi sebagai komponen vital pada mesin juga menerima dampak dari penggunaan bahan bakar yang digunakan pada mesin. Kondisi visual pada busi juga dapat mencerminkan baik atau tidaknya proses pembakaran pada mesin. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis dari penggunaan bahan bakar Premium 80%-Metanol 20% (M20) terhadap performa sepeda motor Yamaha Nmax 155 dengan menggunakan variasi busi standar, platinum dan iridium. Pada penelitian ini penulis juga membandingkan performa sepeda motor Yamaha Nmax 155 dengan menggunakan bahan bakar Pertamina dengan variasi busi standar, platinum dan iridium. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan bahan bakar Premium 80%-Metanol 20% meninggalkan kotoran karbon serta penurunan nilai resistor pada busi yang paling sedikit jika dibandingkan dengan konsentrasi metanol yang lebih rendah. Performa yang dihasilkan sepeda motor Yamaha Nmax 155 memiliki daya terbesar 13,13 hp dengan menggunakan bahan bakar Premium 80%-Metanol 20% (M20) dengan menggunakan busi iridium serta torsi terbesar 14,09 N.m didapatkan dengan bahan bakar Premium 80%-Metanol 20% (M20) dengan busi standar. Untuk daya dan torsi terkecil didapatkan dengan bahan bakar Pertamina, masing-masing 12,55 hp dengan busi platinum dan 12,07 N.m dengan busi standar.

Kata Kunci : Bahan Bakar Premium-Metanol, Daya dan Torsi, Variasi Jenis Busi

## Abstract

In order to reduce the use of fossil fuels when the number of motorcycles increases, it is necessary to look for renewable and easily available fuels, one of which is Premium 80%-methanol 20% (M20) mixed fuel. In addition to the use of fuel that we must pay attention to, spark plugs as a vital component of the engine also receive the impact of the use of fuel used in the engine. The visual condition of the spark plug can also reflect whether or not the combustion process in the engine is good. The purpose of this study was to analyze the use of Premium 80%-methanol 20% (M20) fuel on the performance of a Yamaha Nmax 155 motorcycle using standard, platinum and iridium spark plug variations. In this study, the authors also compared the performance of a Yamaha Nmax 155 motorcycle using Pertamina fuel with standard, platinum and iridium spark plug variations. The results of this study indicate that the use of Premium 80%-methanol 20% fuel leaves carbon impurities and the least reduction in the value of the resistor at the spark plug when compared to lower methanol concentrations. The performance produced by the Yamaha Nmax 155 motorcycle has the largest power of 13.13 hp using Premium 80%-Methanol 20% (M20) fuel using iridium spark plugs and the largest torque of 14.09 Nm is obtained with Premium 80%-Methanol 20 fuel. % (M20) with standard spark plugs. For the smallest power and torque obtained with Pertamina fuel, each 12.55 hp with platinum spark plugs and 12.07 N.m with standard spark plugs.

Keywords: Premium-Methanol Fuel, Power and Torque, Various Types of Spark Plugs

## 1. Pendahuluan

Seiring dengan meningkatnya jumlah penggunaan moda transportasi di Indonesia baik transportasi umum maupun pribadi khususnya sepeda motor mengakibatkan penggunaan bahan bakar sebagai suplai energi utama yang semakin lama semakin menipis akibat adanya ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Tidak hanya cadangan minyak yang semakin menipis, kendaraan bermotor telah lama menjadi salah satu sumber pencemaran udara di banyak

kota besar dunia. Gas-gas beracun dari jutaan knalpot kendaraan bermotor setiap harinya menimbulkan masalah serius di banyak negara. Di Indonesia, polusi yang disebabkan oleh kendaraan bermotor memberikan kontribusi pada polusi udara sekitar 60% - 70% dari total polusi udara keseluruhan [1].

Khusus kendaraan sepeda motor, pada tahun 2017-2019 di Indonesia terjadi kenaikan jumlah sepeda motor sebesar 12,5% yang dimana jumlahnya akan semakin meningkat seiring bertambahnya dengan

jumlah penduduk [2]. Oleh karena itu, perlunya mencari bahan bakar terbarukan yang dapat menggantikan peran dari bahan bakar fosil saat ini, salah satu bahan bakar yang dapat menjadi kandidat adalah metanol. Pertimbangan dipilihnya bahan bakar metanol sebagai pengganti bahan bakar fosil adalah karena metanol merupakan salah satu sumber energi yang dapat diperbaharui dan dapat diproduksi atau dibuat kembali dengan cara sintesis gas hidrogen dan karbon dioksida [3].

Tidak hanya memperhatikan aspek pada bahan bakar, penggunaan bahan bakar terbarukan akan memberikan dampak pada komponen mesin yang ada saat ini, tak terkecuali busi. Penggunaan jenis busi dapat mempengaruhi performa dari suatu mesin. Pada penelitian kali ini, penulis ingin menganalisis pengaruh jenis busi standar platinum dan iridium pada sepeda motor yang Menggunakan bahan bakar terbarukan Premium 80%-Metanol 20% (M20) yang kemudian dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar Pertamina. Dampak yang diamati adalah kondisi visual busi, nilai resistansi busi serta perbedaan performa dari sepeda motor Yamaha Nmax 155. Pengukuran performa mesin dilakukan dengan mesin *Dyno Test*.

## 2. Dasar Teori

### 2.1. Bahan Bakar Metanol

Metanol adalah cairan tidak berwarna dan sedikit berbau dengan rumus kimia  $CH_3OH$ . Metanol disebut juga sebagai *methyl acohol*, *wood spirit*, *carbinol*, *wood alcohol*, dan *wood naphta* dikarenakan metanol dapat dibuat dari kayu. Metanol banyak digunakan pada produk-produk industri dan sebagai pelarut. Metanol digunakan sebagai cairan pembersih wiper, antifreeze, bahan bakar model pesawat terbang, cairan duplikat, pembersih cat.



Gambar 1 Metanol

Penggunaan metanol untuk konsumsi tidak lah dibenarkan karena metanol adalah zat tidak layak konsumsi dan beracun bagi tubuh. Namun metanol tidak bersifat karsinogen dan mutagen pada manusia serta tidak dikategorikan sebagai bahan toksik pada sistem reproduksi manusia [4]. Gambar 1 merupakan metanol yang digunakan dalam penelitian.

### 2.2. Bahan Bakar M20

Bahan bakar campuran (Premium 80% dan metanol 20%) atau bisa disebut juga dengan M20 adalah bahan bakar campuran Premium-metanol yang dapat menjadi kandidat sebagai bahan bakar terbarukan akibat menipisnya cadangan minyak dunia. Bahan bakar M20 (Premium 80%-Metanol 20%) sendiri memiliki kandungan nilai oktan serta nilai kalor bahan bakar yang dinilai cocok digunakan sebagai bahan bakar terbarukan pengganti bahan bakar dengan oktan RON 92.

Nilai oktan pada bahan bakar metanol adalah sebesar 108 serta nilai oktan pada bahan bakar Premium adalah 88 [5]. Nilai kalor bahan bakar yang terkandung dalam metanol adalah sebesar 22.800 kJ/kg serta kandungan energi atau nilai kalor pada bahan bakar Premium adalah 45.950 kJ/kg [6]. Berikut adalah cara menghitung nilai oktan dari campuran 2 bahan bakar.

$$NO_{AB} = \frac{NOA(VA)+NOB(VB)}{(VA+VB)} \quad [1]$$

Dimana : NO = Nilai Oktan

V = Volume Bahan Bakar

### 2.3. Daya, Torsi dan Nilai SFC

Secara fisika daya dapat dinyatakan sebagai besarnya usaha yang dikeluarkan tiap satuan waktu dimana dalam hal ini waktu yang dimaksud adalah detik. Pada kendaraan atau mesin, daya dan torsi menjadi tolak ukur seberapa cepat atau seberapa kuat kendaraan tersebut dijalan maupun dimedan berat atau dalam kata lain daya dan torsi merupakan tolak ukur performa kendaraan tersebut [7].

Torsi adalah merupakan momen dimana dapat dinyatakan sebagai perkalian antara lengan momen dengan arah gaya secara tegak lurus terhadap poros. Torsi pada mesin akan terasa pada saat kendaraan dari diam hingga bergerak, semakin kuat torsi yang dimiliki oleh mesin tersebut akan memberikan efek *launch* yang lebih baik bagi kendaraan [8]. Berikut adalah persamaan untuk daya dan torsi.

$$\text{Daya (P)} = \frac{T(Nm) \times 2\pi \times @rpm}{60 \times 745,7} \quad [2]$$

$$\text{Torsi } (\tau) = F \times l \quad [3]$$

Dimana :

P = Daya

T = Torsi ( $\tau$ )

F = Gaya (N)

l = Panjang lengan dari gaya ke pusat poros secara tegak lurus

*Specific Fuel Consumption* adalah suatu istilah yang mengacu kepada rasio antara pemakaian bahan bakar dan daya yang dihasilkan oleh suatu mesin pembakaran dalam. SFC adalah ukuran efisiensi suatu mesin yang menggambarkan rasio antara jumlah pemakaian bahan bakar dan energi yang dihasilkan. Semakin kecil nilai SFC suatu mesin maka menunjukkan mesin tersebut semakin efisien [9]. SFC juga menyatakan jumlah pemakaian bahan bakar yang dikonsumsi oleh motor atau mesin untuk menghasilkan daya 1 Hp selama 1 jam. Berikut adalah persamaan dari nilai SFC.

$$SFC = \frac{mf}{P} \quad [4]$$

Dimana :

$mf = V_{bb} \times \rho_{bb}$

$V_{bb}$  = Laju aliran bahan bakar (liter/jam)

$\rho_{bb}$  = Massa jenis bahan bakar (kg / liter)

P = Daya mesin (hp)

### 3. Metode penelitian

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

#### 3.1. Alat

1. Sepeda motor Yamaha Nmax 155 tahun 2018
2. Busi standar NGK CPR8EA-9
3. Busi platinum NGK CPR8EAGP-9
4. Busi iridium NGK CPR8EAIX-9
5. Gelas ukur
6. *Dynamometer*
7. *Stopwatch*
8. Timbangan Elektrik.

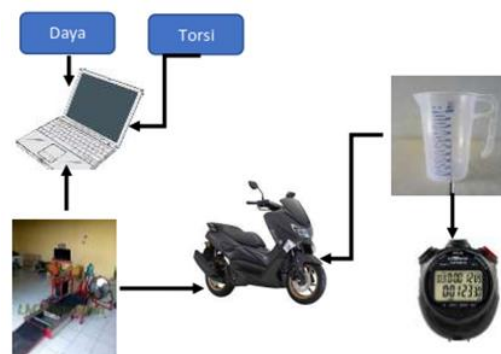
#### 3.2. Bahan

Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Bahan bakar Premium
2. Bahan bakar Pertamina
3. Bahan bakar Metanol

#### 3.3. Metode Uji

Adapun metode pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan menggunakan alat ukur *dynamometer* untuk melihat besarnya daya dan torsi yang dihasilkan. Sedangkan, untuk mengukur nilai SFC, penulis menggunakan alat ukur waktu untuk mencatat waktu habisnya bahan bakar. Berikut adalah gambar skema pengujian pada penelitian ini.



**Gambar 2 Skema penelitian**

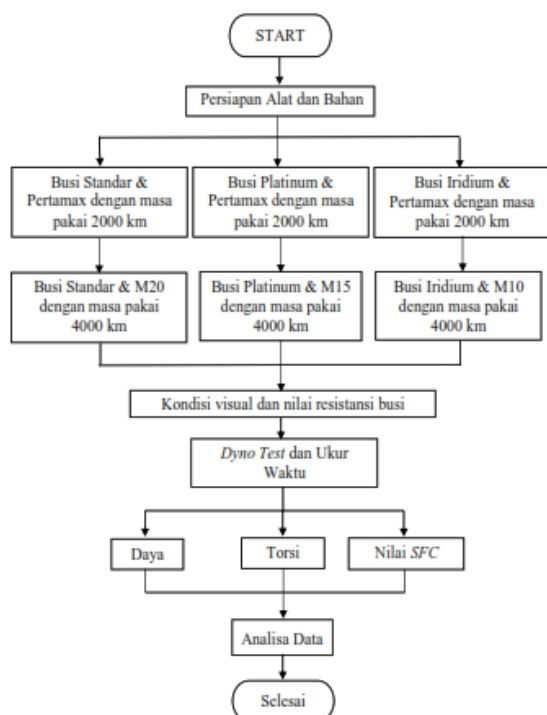
Adapun urutan dari skema penelitian daya dan torsi ini adalah sebagai berikut:

1. Pasangkan busi dengan tipe standar pada sepeda motor lalu tuang bahan bakar Premium 80%-Metanol 20% (M20) ke dalam tangki sepeda motor.
2. Nyalakan sepeda motor lalu pasang sepeda motor pada mesin *dyno* dan pastikan sudah terpasang dengan baik, lalu geber sepeda motor dari rpm langsam hingga rpm maksimal mesin dan catat hasil daya dan torsi pada monitor mesin *dyno*.
3. Ulangi langkah tersebut dengan jenis busi platinum dan iridium lalu dengan menggunakan bahan bakar Pertamina sebagai pembandingan.

Untuk skema pengujian nilai SFC dapat dilihat sebagai berikut:

1. Takar menggunakan gelas ukur untuk bahan bakar Premium 80%-Metanol 20% (M20) sebanyak 40 ml, lalu tuangkan bahan bakar ke dalam tangki sepeda motor.
2. Pasangkan busi standar pada sepeda motor lalu hidupkan sepeda motor.
3. Pacu rpm sepeda motor dari rpm langsam hingga 8000 rpm dengan durasi waktu 7 detik lalu biarkan mesin berada pada 8000 rpm dan catat waktu mesin menyala hingga bahan bakar habis.
4. Ulangi langkah nomor 1-3 dengan bahan bakar Pertamina sebagai pembandingan dan jenis busi platinum dan iridium.

### 3.4. Diagram alir penelitian



Gambar 3. Diagram alir penelitian

## 4. Hasil dan Pembahasan

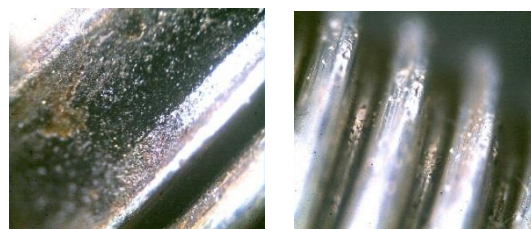
### 4.1. Kondisi Visual dan Nilai Resistansi Busi

Setelah menggunakan busi dengan jarak tempuh 4000 km dengan bahan bakar yang berbeda yaitu pada jarak tempuh hingga 2000 km, busi standar platinum maupun iridium masing-masing menggunakan bahan bakar Pertamina dan dilanjutkan hingga jarak 4000 km yaitu pada busi standar menggunakan Premium 80%-Metanol 20% (M20), busi platinum dengan Premium 85%-Metanol 15% (M15) dan busi iridium dengan Premium 90%-Metanol 10% (M10). Pengambilan gambar kondisi visual busi dilakukan dengan mikroskop pengujian makro yaitu dengan pembesaran 40x.

Berikut adalah kondisi visual busi standar, platinum dan iridium setelah menempuh jarak 4000 km.



Gambar 4 Kerak pada ujung elektroda dan ulir pada busi standar



Gambar 5. Kerak pada ujung elektroda dan ulir busi platinum



Gambar 6 Kerak pada ujung elektroda dan ulir busi iridium

Pada kondisi visual dari ketiga busi tersebut menunjukkan bahwa busi standar memiliki kotoran karbon yang lebih sedikit sedangkan busi dengan kotoran karbon terbanyak berada pada busi iridium. Tidak hanya kondisi visual busi, penurunan dari nilai resistansi busi adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Penurunan nilai resistansi busi

Jenis Busi	Nilai Resistor Awal (0 km) k $\Omega$	Nilai Resistor Akhir (4000 km) k $\Omega$	Nilai Berkurang k $\Omega$
Busi Standar NGK CPR8EA-9	5,00	4,52	0,48
Busi Platinum NGK CPR8EAGP-9	5,00	4,07	0,93
Busi Iridium NGK CPR8EAI-X-9	5,00	4,03	0,97

### 4.2. Daya dan Torsi

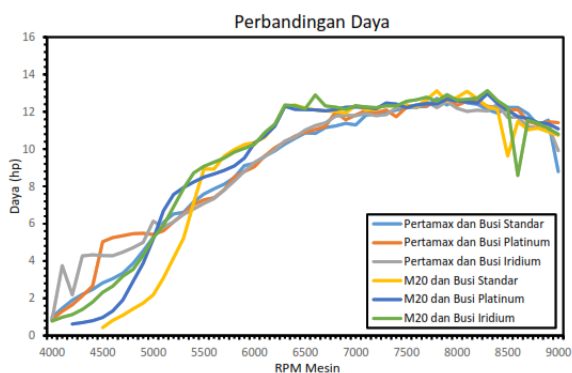
Pada pengujian daya dan torsi dilakukan pada putaran mesin 4000 rpm hingga 9000 rpm. Pengujian dilakukan dengan sepeda motor Yamaha Nmax 155 dengan alat *dyno test* Super Dyno 50L. berikut adalah tabel daya dan torsi pada setiap variable.

Tabel 2. Daya dan torsi pada pengujian

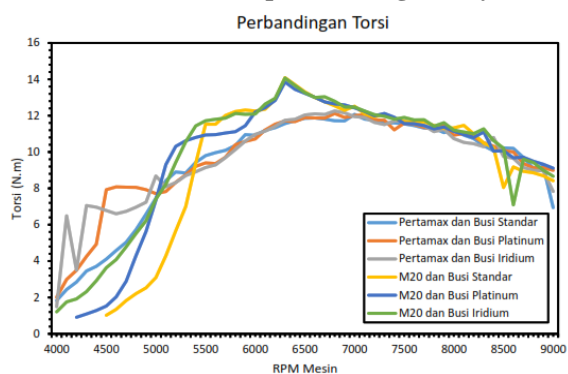
Jenis Busi	Pertamax		Premium 80%-Metanol 20%	
	Daya Maks (hp)	Torsi Maks (N.m)	Daya Maks (hp)	Torsi Maks (N.m)
Standar	12,71	12,07	13,12	14,09
Platinum	12,82	12,12	12,97	13,85
Iridium	12,55	12,26	13,13	14,07

Pada tabel tersebut terlihat bahwa daya dan torsi yang dihasilkan pada sepeda motor Yamaha Nmax 155 dengan menggunakan bahan bakar Premium 80%-Metanol 20%

lebih besar jika dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar Pertamina. Sedangkan penggunaan variasi jenis busi pada tiap bahan bakar tidak memberikan dampak yang signifikan terhadap daya dan torsi yang dihasilkan. Berikut adalah grafik dari perbandingan daya dan torsi pengujian.



Gambar 7. Grafik perbandingan daya



Gambar 8. Grafik perbandingan torsi

### 4.3. Nilai SFC

Pada pengukuran nilai SFC kali ini, penulis menggunakan metode waktu habisnya bahan bakar. Jumlah bahan bakar yang digunakan pada tiap pengambilan data adalah sebanyak 40 ml yang kemudian akan diukur waktu habisnya bahan bakar.

Putaran mesin yang digunakan pada penelitian ini adalah sebesar 8000 rpm. Dari kondisi mesin langsung hingga menjadi 8000 rpm dikondisikan dalam waktu 7 detik pada setiap percobaan. Berikut adalah tabel waktu habisnya bahan bakar.

Tabel 3. Waktu habis bahan bakar

Bahan Bakar	Volume Bahan Bakar	Busi Standar	Busi Platinum	Busi Iridium	Kecepatan Mesin (rpm)
Pertamax	40 ml	1 menit 56 detik	2 menit 3 detik	1 menit 42 detik	±8000 rpm
M20 (Premium 80%-Metanol 20%)	40 ml	1 menit 27 detik	1 menit 19 detik	1 menit 22 detik	±8000 rpm

Dengan menggunakan persamaan 4, berikut adalah perhitungan nilai SFC berdasarkan waktu habisnya bahan bakar:

$$SFC = \frac{\dot{m}f}{P}$$

dimana untuk nilai

$$\dot{m}f = \sqrt{V_{bb}} \times \rho_{bb}$$

Untuk  $\rho_{bb}$  Pertamina = 0,740 kg/liter

Untuk  $\rho_{bb}$  M20 =

$\rho_{bb}$  Premium = 0,722 kg/liter ,

$\rho_{bb}$  Metanol = 0,786 kg/liter

$$\text{Maka } \rho_{bb} \text{ M20} = \frac{0,722(80\%) + 0,786(20\%)}{100\%}$$

$$\text{Maka } \rho_{bb} \text{ M20} = 0,577 + 0,157 = 0,734 \text{ kg/liter}$$

SFC bahan bakar Pertamina :

1. Busi Standar :

$$SFC = \frac{\dot{m}f}{P} \quad \text{Dimana } \dot{m}f = \sqrt{V_{bb}} \times \rho_{bb}$$

$$\dot{m}f = \frac{40 \text{ ml}}{116 \text{ s}} = 0,344 \text{ ml/s atau } 1238,4 \text{ ml/jam} = 1,238 \text{ liter/jam}$$

$$\dot{m}f = 1,238 \text{ liter/jam} \times 0,740 \text{ kg/liter} = 0,916 \text{ kg/jam}$$

Dengan perhitungan yang sama, didapatkan nilai SFC dari seluruh percobaan adalah sebagai berikut:

Tabel 4. Nilai SFC hasil pengujian

Jenis Busi	Jenis Bahan Bakar	Volume Bahan Bakar	Waktu Habis	Nilai SFC
Busi Standar	Pertamax	40 ml	1 menit 56 detik	0,072
	M20	40 ml	1 menit 27 detik	0,092
Busi Platinum	Pertamax	40 ml	2 menit 3 detik	0,067
	M20	40 ml	1 menit 19 detik	0,103
Busi Iridium	Pertamax	40 ml	1 menit 42 detik	0,083
	M20	40 ml	1 menit 22 detik	0,097

Pada tabel tersebut terlihat bahwa sepeda motor Yamaha Nmax 155 memiliki nilai SFC atau konsumsi bahan bakar yang lebih rendah jika dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar campuran yaitu Premium 80%-Metanol 20% (M20). Terlihat bahwa nilai SFC terendah didapatkan dengan bahan bakar Pertamina dengan menggunakan busi platinum, sedangkan nilai SFC tertinggi didapatkan dengan menggunakan bahan bakar campuran Premium 80%-Metanol 20% (M20) dengan busi platinum.

### 5. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat ditarik dari hasil pengujian pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penggunaan bahan bakar campuran Premium 80%-Metanol 20% (M20) pada sepeda motor Yamaha Nmax 155 memberikan efek yaitu kotoran sisa pembakaran pada mesin yang lebih bersih jika dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar Pertamina. Penggunaan bahan bakar campuran Premium 80%-Metanol

20% (M20) juga mengakibatkan penurunan nilai resistansi busi yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan bahan bakar campuran metanol dengan kadar lebih rendah serta bahan bakar fosil murni.

2. Penggunaan bahan bakar campuran Premium 80%-Metanol 20% memberikan performa mesin Yamaha Nmax 155 yang lebih baik jika dibandingkan dengan bahan bakar Pertamina. Sedangkan, penggunaan variasi jenis busi pada sepeda motor Yamaha Nmax 155 memberikan dampak pada performa mesin yang tidak signifikan.
3. Konsumsi bahan bakar terbaik diraih dengan menggunakan bahan bakar Pertamina. Sedangkan, konsumsi bahan bakar Premium 80%-Metanol 20% (M20) pada sepeda motor Yamaha Nmax 155 lebih besar jika dibandingkan dengan Pertamina.

#### Daftar Pustaka

- [1] Badan Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah Jakarta, 2013, *Zat-zat Pencemar Udara*.
- [2] Badan Pusat Statistik, 2021, *Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis (Unit) 2017-2019*, Jakarta:Badan Pusat Statistik
- [3] Sugiyanto D., 2014, *Pengaruh Variasi Jenis Busi Dan Campuran Bensin Methanol Terhadap Kinerja Motor 4Tak*, Jurnal Sainstech Politeknik Indonusa Surakarta 1(2): 1-8.
- [4] Gonda A., Gault H., Churchill D., Hollomby D., 1978, *Hemodialysis for methanol intoxication*. American Journal of Medicine 64(749).
- [5] Sipahutar R., Madona, 2015, *Pengaruh Pencampuran Metanol Pada Bahan Bakar Pertamina Terhadap Angka Nilai Oktan, Nilai Kalori Dan Konsumsi Bahan Bakar*, Jurnal Rekayasa Mesin 15 (2): 85-90.
- [6] Syarifuddin A., Utomo M.T.S., Syaiful S., 2015, *Pengaruh Methanol Kadar Tinggi terhadap Performa dan*

*Emisi Gas Buang Mesin Bensin dengan Sistem Egr Panas*, Prosiding Semnastek.

- [7] Rizaldy H.A., 2016, *Desain Mobil Untuk Wilayah Pedesaan Dengan Konsep Multifungsi Menggunakan Basis Tabby EVO*, Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [8] Kusnadi K., 2015, *Pengaruh Penggunaan Turbocharger Terhadap Unjuk Kerja Mesin Diesel Tipe L 300*. Nozzle: Journal Mechanical Engineering, 3(1).
- [9] Ariani F., Ginting E., Sitorus T.B., 2017, *Karakteristik Kinerja Mesin Diesel Stasioner dengan Bahan Bakar Campuran Biodiesel dari Biji Kemiri Sunan*, Media Teknika, 12(1).

	<p><b>Iqbal Hartanto</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 motor bakar dalam</p>	

# Pengaruh Komposisi Bahan Bakar Campuran Metanol Bensin Terhadap Kinerja Mesin Dan Emisi Gas Buang Pada Motor Yamaha Nmax

Kevin Brandon Christian Paoki, Ainul Ghurri, dan Tjokorda Gde Tirta Nindhia  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

Cepat atau lambat sumber minyak (fossil fuel) akan habis karena minyak bumi merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui. Metanol menjadi salah satu sumber energi alternatif yang dapat mengurangi penggunaan minyak bumi. Dengan ditambahkan metanol dalam mesin kendaraan maka emisi gas buang dan kinerja mesin yang dihasilkan juga akan berubah. Pencampuran metanol pada bahan bakar kendaraan dilakukan dengan kadar 5% (M5), 15% (M15), dan 20% (M20). Bahan bakar yang telah dicampur dengan metanol diharapkan dapat mengurangi emisi gas buang dan meningkatkan torsi serta daya yang dihasilkan oleh mesin kendaraan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin Dyno Test Super Dyno 50L untuk mengetahui perubahan torsi dan daya kendaraan, sedangkan pengujian emisi kendaraan menggunakan mesin Muller Beam 10000 MX. Hasil pengujian kinerja mesin menunjukkan bahwa dengan ditambahkan metanol terjadi perubahan torsi dan daya yang dihasilkan mesin kendaraan. M20 menjadi bahan bakar campuran yang menghasilkan torsi dan daya maksimum tertinggi. Sedangkan pengujian emisi gas buang menunjukkan dengan menggunakan bahan bakar campuran M15 terjadi penurunan kadar HC dan CO yang paling baik diantara 4 variasi bahan bakar lainnya.

Kata Kunci: Metanol, Torsi, Daya, SFC, HC, CO

## Abstract

Sooner or later the source of oil (fossil fuel) will run out because petroleum is a non-renewable energy source. Methanol is one of the alternative energy sources that can reduce the use of petroleum. With the addition of methanol in the fuel, the exhaust gases and engine performance will also change. The variation of methanol that is mixed with the fuel is 5% (M5), 15% (M15), and 20% (M20). The fuel that has been mixed with methanol is expected to reduce exhaust gasses and increase the torque and power generated by the vehicle's engine. The tests were carried out using Dyno Test Super Dyno 50L engine to determine changes in torque and vehicle power, while the exhaust gases test were using the Muller Beam 10000 MX. The results of the engine performance test show that with the addition of methanol there is a change in the torque and power produced by the vehicle engine. M20 being a mixed fuel that produces the highest maximum torque and power. While the exhaust gases testing shows that by using a mixed fuel M15 there is a decrease in the levels of HC and CO which is the best among the 4 variations of other fuels.

Keywords: Methanol, Torque, Power, SFC, HC, CO

## 1. Pendahuluan

Aktivitas manusia sangat terbantu dengan adanya kendaraan bermotor. Dengan banyaknya kendaraan bermotor yang beroperasi setiap harinya membuat emisi gas buang yang dihasilkan meningkat sehingga pencemaran udara terjadi dengan jumlah yang cukup besar. Unsur-unsur yang terkandung dalam emisi gas buang yang dihasilkan oleh proses pembakaran pada mesin kendaraan bermotor antara lain CO, NO<sub>2</sub>, HC, C, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O dan N<sub>2</sub>, dimana banyak yang bersifat mencemari lingkungan sekitar dalam bentuk polusi udara dan mengganggu kesehatan hingga menimbulkan kematian pada kadar tertentu [1]. Maka dari itu dibuatlah peraturan Gubernur DKI Jakarta Nomor 31 Tahun 2008 yang menyebutkan bahwa sepeda motor 2 tak dan 4 tak dengan tahun pembuatan diatas 2010, harus memenuhi ambang batas gas buang karbon monoksida sebesar 4,5 % dan Hidrokarbon di angka 2.000 ppm [2].

Untuk mengoperasikan kendaraan bermotor diperlukan sebuah bahan bakar bensin, dimana bensin itu sendiri tergolong kedalam bahan bakar fosil yang suatu saat akan habis jika digunakan secara terus menerus. Dengan menipisnya persediaan bahan bakar fosil setiap tahunnya, manusia dituntut untuk menemukan bahan bakar lain yang dapat digunakan untuk menggantikan bahan bakar fosil. Metanol dan etanol dari biomassa, tebu, jagung, dan lain-lain, yang bisa dipergunakan sebagai pengganti bensin [3].

Metanol merupakan bahan bakar alternatif yang memiliki angka oktan 108. Namun, metanol tidak dapat digunakan secara langsung pada kendaraan dikarenakan sifatnya yang korosif, untuk itu penggunaan metanol sebagai bahan bakar dilakukan dengan mencampurkan bahan bakar premium dan metanol dengan kadar tertentu [4].

Dengan dicampurkannya metanol dengan bahan bakar premium, maka akan merubah emisi gas



buang, torsi dan daya, serta *specific fuel consumption* yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor. Oleh karena itu, pada penelitian kali ini, peneliti menggunakan 3 jenis bahan bakar campuran yaitu M5 (Metanol 5% + Premium 95%), M15 (Metanol 15% + Premium 85%), dan M20 (Metanol 20% + Premium 80%), untuk mengetahui pengaruh yang dihasilkan oleh metanol pada kinerja mesin serta emisi gas buang yang dihasilkan oleh kendaraan Yamaha Nmax. Hasil uji ke-3 bahan bakar tersebut akan dibandingkan dengan bahan bakar yang sesuai dengan kebutuhan Yamaha Nmax yaitu pertamax. Untuk mengetahui kinerja mesin, peneliti menguji Yamaha Nmax dengan menggunakan mesin *Dyno*, sedangkan pengujian emisi gas buang dilakukan menggunakan *Gas Analyzer*.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Metanol

Metanol merupakan cairan bening yang memiliki rumus kimia  $CH_3OH$  yang biasanya juga disebut "alkohol kayu". Metanol merupakan cairan bening yang bersifat polar, menjadikannya sebagai pelarut yang baik. Selain itu metanol juga merupakan zat yang sangat mudah terbakar, dan sangat beracun bagi manusia jika tertelan tanpa sengaja [5].

### 2.2 Bahan Bakar

Premium dan pertamax merupakan bahan bakar bensin yang memiliki angka oktan 88 dan 92, sedangkan metanol merupakan alkohol yang memiliki angka oktan 108. Hasil campuran bahan bakar premium dengan metanol akan memiliki angka oktan yang berbeda tergantung dari banyaknya kadar metanol yang dicampurkan. Pada penelitian ini, penulis menggunakan 3 jenis bahan bakar campuran yaitu metanol 5% + Premium 95% (M5), metanol 15% + premium 85% (M15), dan metanol 20% + premium 80% (M20). Berikut merupakan cara untuk mengetahui angka oktan bahan bakar campuran :

$$ON_{mix} = (\% \text{ Premium} \times ON \text{ Premium}) + (\% \text{ Metanol} \times ON \text{ Metanol}) \quad (1)$$

**Tabel 1. Angka Oktan Bahan Bakar Campuran**

Campuran Metanol dan Premium	Angka Oktan Campuran (ON <sub>mix</sub> )
M5	89
M15	91
M20	92

### 2.3 Kinerja Mesin

Torsi dapat dihitung dari hasil kali gaya dengan jarak. Torsi didefinisikan sebagai suatu gaya yang dibutuhkan untuk memutar sebuah benda agar bergerak [6]. Berikut merupakan persamaan untuk mengukur nilai torsi :

$$T = F \times b \quad (2)$$

F adalah gaya yang diperoleh dari nilai massa dikali nilai percepatan gravitasi, sehingga persamaannya menjadi :

$$T = m \times g \times b \quad (3)$$

Dimana :

$$T = \text{Torsi (Nm)}$$

$$F = \text{Force (N)}$$

$$m = \text{Massa (kg)}$$

$$g = \text{Percepatan Gravitasi (m/s}^2\text{)}$$

$$b = \text{Panjang Langkah (m)}$$

Daya adalah nilai yang menunjukkan saat sebuah gaya dilakukan [7].

Berikut merupakan persamaan untuk mengukur nilai daya dengan menggunakan torsi (Nm) :

$$P = \frac{2 \times \pi n T}{1000 \times 60} \text{ (kW)} \quad (4)$$

Dimana :

$$P = \text{Daya (kW)}$$

$$n = \text{Putaran Mesin (RPM)}$$

$$T = \text{Torsi (Nm)}$$

Dengan menggunakan torsi (lbs.ft) :

$$P = \frac{n \times T}{5252} \text{ (HP)} \quad (5)$$

Dimana :

$$P = \text{Daya (HP)}$$

$$n = \text{Putaran Mesin (RPM)}$$

$$T = \text{Torsi (lbs.ft)}$$

*Specific Fuel Consumption* (SFC) adalah ukuran efisiensi suatu mesin yang menggambarkan rasio antara jumlah pemakaian bahan bakar yang dihasilkan. Semakin kecil nilai SFC suatu mesin maka menunjukkan mesin tersebut semakin efisien [8].

Berikut merupakan penghitungan *Specific Fuel Consumption* :

$$SFC = \frac{\dot{m}_f}{P} \quad (6)$$

Untuk menghitung nilai  $\dot{m}$  dapat menggunakan persamaan :

$$\dot{m} = Q \times \rho \quad (7)$$

Dimana :

$$SFC = \text{Specific Fuel Consumption}$$

$$\dot{m} = \text{Laju Aliran Massa (kg/s)}$$

$$Q = \text{Debit Aliran (L/jam)}$$

$$\rho = \text{Massa Jenis (kg/m}^3\text{)}$$

### 2.4 Emisi Gas Buang

CO yang dikeluarkan dari sisa hasil pembakaran banyak dipengaruhi oleh perbandingan campuran bahan bakar dan udara yang dihisap oleh mesin, untuk mengurangi CO perbandingan campuran ini harus dibuat kurus. Senyawa Hidrokarbon (HC), terjadi karena bahan bakar belum terbakar tetapi sudah terbuang bersama gas buang akibat pembakaran kurang sempurna dan penguapan bahan bakar [9].

## 3. Metode Penelitian

### 3.1 Alat

Alat yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Sepeda motor Yamaha Nmax 155 tahun 2018

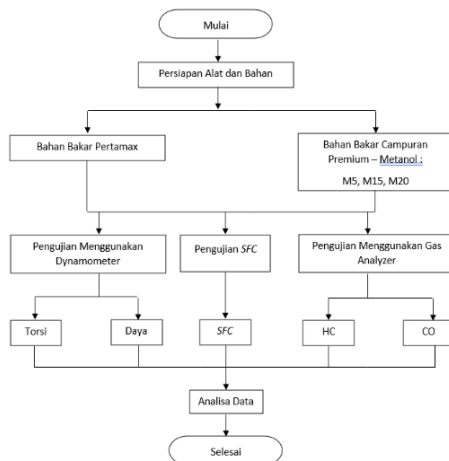
2. Gelas ukur
3. Alat kuras bahan bakar
4. *Gas Analyzer*
5. *Dynamometer*

### 3.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Metanol
2. Bahan bakar premium
3. Bahan bakar pertamax

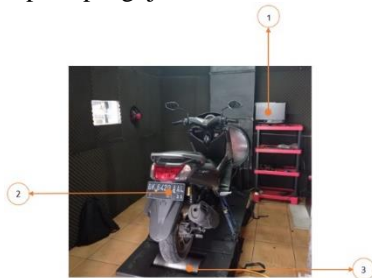
### 3.3 Diagram Alir



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

### 3.4 Prosedur Pengujian

Pencampuran bahan bakar premium dan metanol dilakukan dengan kadar M5 (metanol 5% + premium 95%), M15 (Metanol 15% + premium 85%), dan M20 (metanol 20% + premium 80%). Penggunaan mesin *dynamometer* dilakukan untuk mengetahui torsi dan daya motor. Berikut adalah gambar pengujian dengan menggunakan *dynamometer* pada pengujian ini.



Gambar 2. Dyno Test

Keterangan :

1. Monitor
2. Motor Yamaha Nmax
3. *Dynamometer*

Adapun urutan skema dari pengujian torsi dan daya ini, adalah sebagai berikut :

1. Dengan menggunakan bahan bakar pertamax, motor diletakkan diatas mesin dyno dan memastikan motor terpasang secara sempurna.
2. Motor dinyalakan dan setelah stabil, tarik gas motor dari putaran awal hingga putaran mesin maksimum.

3. Lalu data akan keluar pada monitor yang telah tersambung dengan mesin *dynamometer*, dan catat hasil torsi dan daya yang telah ditampilkan.
4. Kemudian ganti bahan bakar pertamax dengan variasi bahan bakar campuran lainnya (M5, M15, dan M20). Lalu ulangi tahapan 1-3 sampai semua data torsi dan daya kendaraan dari tiap bahan bakar didapatkan.

Pada skema pengujian *specific fuel consumption* adalah sebagai berikut :

1. Tangki bahan bakar dikosongkan terlebih dahulu, setelah itu masukan bahan bakar pertamax sebanyak 40 ml.
2. Menyalakan motor dan tarik gas motor dari putaran mesin awal hingga putaran mesin berkisar 8000 RPM dan mempertahankan putaran mesin tersebut hingga bahan bakar habis dan motor mati sendiri.
3. Catat waktu yang ditempuh Yamaha Nmax untuk menghabiskan bahan bakar 40 ml.
4. Kemudian ganti bahan bakar pertamax dengan variasi bahan bakar campuran lainnya (M5, M15, dan M20). Lalu ulangi tahapan 1-3 sampai semua data SFC kendaraan dari tiap bahan bakar didapatkan.

Berikut adalah gambar pengujian dengan menggunakan *gas analyzer* pada pengujian ini.



Gambar 3. Uji Emisi Gas Buang

Keterangan :

1. Motor Yamaha Nmax.
2. Selang yang menghubungkan knalpot kendaraan dengan mesin *gas analyzer*.
3. Mesin *gas analyzer*.

Untuk skema pengujian emisi gas buang dapat dilihat sebagai berikut :

1. Dengan menggunakan bahan bakar pertamax, selang yang telah tersambung dengan mesin *gas analyzer* dimasukkan kedalam knalpot Yamaha Nmax.
2. Lalu nyalakan motor, setelah itu tunggu hingga angka yang keluar pada mesin *gas analyzer* stabil.
3. Setelah angka pada mesin *gas analyzer* sudah stabil maka data HC dan CO kendaraan dapat diperoleh.
4. Kemudian ganti bahan bakar pertamax dengan variasi bahan bakar campuran lainnya (M5, M15, dan M20). Lalu ulangi tahapan 1-3 sampai semua data HC dan CO kendaraan dari tiap bahan bakar didapatkan.

#### 4. Hasil dan Pembahasan

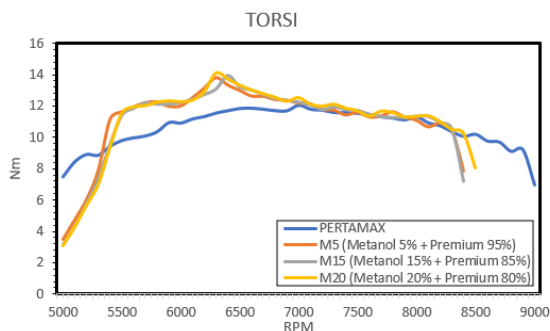
##### 4.1. Hasil uji Torsi dan Daya

Pengujian torsi dan daya dilakukan dengan menggunakan alat *Dyno Test Super Dyno 50L*. Berikut merupakan hasil pengujian torsi maksimum dan daya maksimum dari setiap variasi bahan bakar dalam bentuk tabel :

**Tabel 2. Hasil Uji *Dyno test***

Jenis Bahan Bakar	Daya Maksimum		Torsi Maksimum	
	Hasil (HP)	RPM	Hasil (Nm)	RPM
PERTAMAX	12.71	8000	12.07	7000
M5	12.71	7800	13.80	6300
M15	12.84	8100	13.93	6400
M20	13.12	8100	14.09	6300

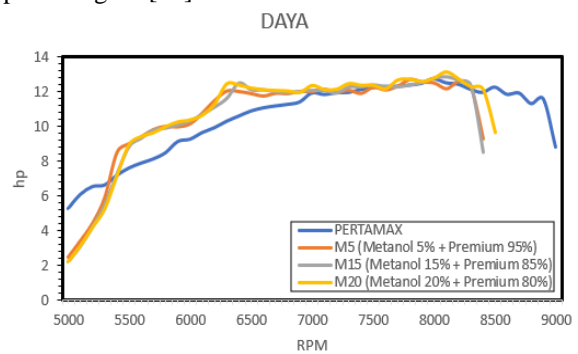
Dari data pada tabel tersebut dapat terlihat terjadinya peningkatan daya dan torsi disetiap bahan bakar yang diuji. Bahan bakar campuran premium dengan metanol 20% (M20) menjadi bahan bakar campuran yang menghasilkan daya dan torsi tertinggi yaitu sebesar 13,12 HP pada RPM 8100 dan 14,09 Nm pada RPM 6300. Sedangkan daya terendah dihasilkan oleh bahan bakar pertamax dan juga bahan bakar campuran premium dengan metanol 5% (M5), namun pada bahan bakar M5 terjadi peningkatan torsi sehingga torsi terendah didapatkan ketika menggunakan bahan bakar pertamax. Berikut merupakan data dari hasil pengujian *dyno test* dengan menggunakan 4 variasi bahan bakar pada motor Yamaha Nmax dalam bentuk grafik :



**Gambar 4. Grafik Torsi *Dyno Test***

Dari grafik torsi tersebut dapat terlihat bahwa torsi tertinggi terdapat pada bahan bakar M20 yang menghasilkan torsi sebesar 14,09 Nm pada putaran mesin 6300 RPM. Pada bahan bakar campuran lainnya juga dapat menambahkan torsi maksimum, seperti pada M15 yang menghasilkan torsi sebesar 13,93 Nm pada putaran mesin 6400 RPM dan M5 yang menghasilkan torsi sebesar 13,8 Nm pada putaran mesin 6300 RPM. Peningkatan torsi terjadi dikarenakan metanol mengandung oksigen lebih banyak, sehingga ketika dicampur dengan bensin, maka campuran bahan bakar akan mengandung oksigen lebih banyak. Dengan banyaknya oksigen yang terkandung dalam bahan bakar campuran menyebabkan kandungan bahan bakar dengan udara tersebut menjadi miskin karena kurangnya bahan bakar yang menyebabkan pembakaran lebih efisien. Dikarenakan pada putaran mesin lebih dari 6000 RPM koefisien fluktuasi kecepatan yang menyebabkan percepatan poros engkol menurun

seiring dengan meningkatnya momen inersia pada poros engkol [10].



**Gambar 5. Grafik Daya *Dyno Test***

Dari grafik daya tersebut dapat terlihat bahwa daya tertinggi terdapat pada bahan bakar M20 yaitu sebesar 13,12 HP pada putaran mesin 8100 RPM. Penambahan daya juga terjadi pada bahan bakar campuran M15 yaitu sebesar 12,84 HP pada putaran mesin 8100 RPM, sedangkan daya maksimum bahan bakar M5 memiliki hasil yang sama dengan daya maksimum yang dihasilkan oleh bahan bakar pertamax yaitu 12,71 HP pada putaran mesin 7800 RPM untuk M5 dan 8000 RPM untuk bahan bakar pertamax. Pada putaran mesin yang tinggi menyebabkan adanya peningkatan efisiensi volumetris yang berarti tekanan vakum pada saluran masuk meningkat dengan begitu akan terjadi peningkatan laju aliran udara kedalam silinder. Setelah putaran mesin mencapai putaran 8000 RPM terjadi penurunan daya.

##### 4.2 Hasil Uji SFC

Metode yang digunakan oleh penguji pada pengujian kali ini merupakan metode menghitung waktu habisnya bahan bakar.. Berikut merupakan hasil uji waktu untuk SFC :

**Tabel 3. Hasil Uji Waktu Untuk SFC**

PUTARAN MESIN (RPM)	WAKTU			
	PERTAMAX	M5	M15	M20
8000	1 menit 56 detik	1 menit 49 detik	1 menit 33 detik	1 menit 27 detik

Setelah data waktu didapatkan, maka dapat menghitung SFC dengan menentukan massa jenis bahan bakar terlebih dahulu :

Dimana :

$$\rho_{bb} \text{ Pertamax} = 0,740 \text{ kg/L}$$

$$\rho_{bb} \text{ Premium} = 0,722 \text{ kg/L}$$

$$\rho_{bb} \text{ Metanol} = 0,786 \text{ kg/L}$$

Massa jenis bahan bakar campuran :

$$\rho_{bb} \text{ M5} = \frac{0,722(95\%) + 0,786(5\%)}{100\%} = 0,7252 \text{ kg/L}$$

$$\rho_{bb} \text{ M15} = \frac{0,722(85\%) + 0,786(15\%)}{100\%} = 0,7316 \text{ kg/L}$$

$$\rho_{bb} \text{ M20} = \frac{0,722(80\%) + 0,786(20\%)}{100\%} = 0,7348 \text{ kg/L}$$

Berikut merupakan penghitungan *Specific Fuel Consumption* yang dilakukan pada bahan bakar pertamax :

$$\dot{m}_f = Q \times \rho_{bb} = \frac{40 \text{ ml}}{116 \text{ detik}} = 0,344 \text{ ml/s} = 1,238 \text{ L/jam}$$

$$= 1,238 \text{ L/jam} \times 0,740 \text{ kg/L}$$

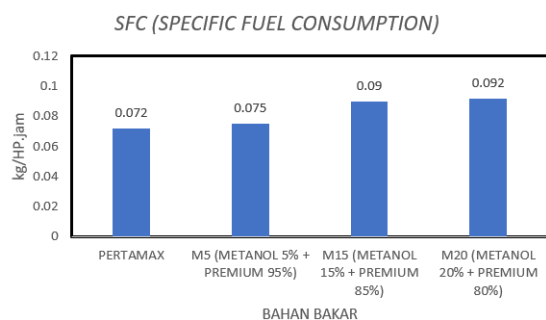
$$SFC = \frac{0,916}{12,71} = 0,072 \text{ kg/HP.jam}$$

Dengan perhitungan yang sama serta menggunakan data yang telah diperoleh maka SFC dari tiap bahan bakar yang didapatkan adalah sebagai berikut :

**Tabel 4. Hasil Pengujian SFC**

BAHAN BAKAR	SFC
PERTAMAX	0,072
M5	0,075
M15	0,090
M20	0,092

Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa pertamax merupakan bahan bakar dengan SFC terendah dan M20 merupakan bahan bakar campuran yang memiliki SFC tertinggi yang berarti dengan menggunakan pertamax konsumsi bahan bakar menjadi lebih irit, hal tersebut dikarenakan dengan penambahan methanol mengakibatkan nilai kalor yang terkandung dalam bahan bakar menurun. Berikut adalah data hasil perolehan nilai *specific fuel consumption* dalam bentuk grafik :



**Gambar 6. Grafik SFC**

### 4.3 Hasil Uji Emisi Gas Buang

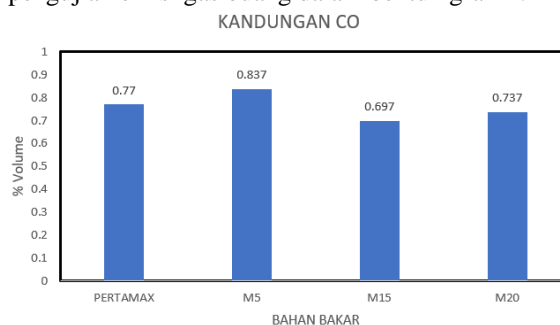
Pada pengujian emisi gas buang dilakukan menggunakan alat Uji Emisi Mesin Bensin *Muller Beam 10000 MX*. Berikut hasil dari pengujian emisi gas buang dalam bentuk tabel :

**Tabel 5. Hasil Emisi Gas Buang**

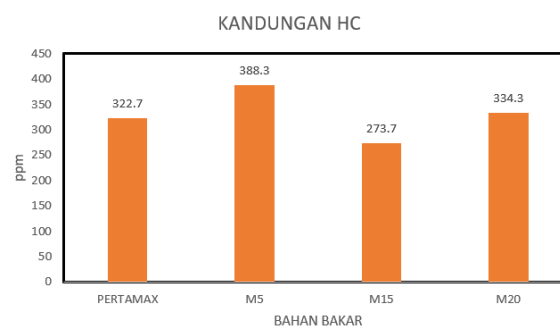
PERTAMAX								
RPM	CO (%)				HC (ppm)			
	Uji 1	Uji 2	Uji 3	Rata-rata	Uji 1	Uji 2	Uji 3	Rata-rata
Idle	0.75	0.79	0.79	0.77	321	326	321	322.7
M5								
RPM	CO (%)				HC (ppm)			
	Uji 1	Uji 2	Uji 3	Rata-rata	Uji 1	Uji 2	Uji 3	Rata-rata
Idle	0.86	0.83	0.82	0.837	407	409	349	388.3
M15								
RPM	CO (%)				HC (ppm)			
	Uji 1	Uji 2	Uji 3	Rata-rata	Uji 1	Uji 2	Uji 3	Rata-rata
Idle	0.69	0.69	0.71	0.697	276	274	271	273.7
M20								
RPM	CO (%)				HC (ppm)			
	Uji 1	Uji 2	Uji 3	Rata-rata	Uji 1	Uji 2	Uji 3	Rata-rata
Idle	0.76	0.72	0.73	0.737	327	344	332	334.3

Dari tabel tersebut dapat terlihat bahwa bahan bakar M15 merupakan bahan bakar dengan hasil emisi terbaik yaitu CO rata-rata sebesar 0.687% dan HC rata-rata sebesar 273.7 ppm, hasil ini merupakan

hasil terbaik jika dibandingkan dengan 3 variasi bahan bakar lainnya. Hal tersebut dikarenakan dengan ditambahkan metanol, bahan bakar campuran mengandung oksigen yang lebih banyak sehingga unsur CO akan lebih mudah diubah menjadi CO<sub>2</sub>. Sedangkan HC terbentuk dari sisa-sisa bahan bakar yang tidak terbakar di ruang bakar. Dengan menurunnya HC menandakan pembakaran yang terjadi lebih sempurna dibandingkan dengan 3 variasi bahan bakar lainnya. Berikut merupakan hasil pengujian emisi gas buang dalam bentuk grafik :



**Gambar 7. Kandungan CO Semua Bahan Bakar**



**Gambar 8. Kandungan HC Semua Bahan Bakar**

### 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari pengujian *dyno test*, pengujian *specific fuel consumption* dan pengujian emisi gas buang, didapat kesimpulan:

1. Hasil dari pengujian emisi gas buang menunjukkan bahwa M15 merupakan bahan bakar yang menghasilkan kadar emisi gas buang terendah dengan rata-rata CO yang dihasilkan sebesar 0.697% dan HC sebesar 273.7 ppm.
2. Hasil pengujian *dyno test* menunjukkan bahwa M20 menjadi bahan bakar yang mampu meningkatkan daya kendaraan hingga 13.12 HP di RPM 8100 dan torsi yang mencapai 14.09 Nm di RPM 6300.
3. Hasil pengujian SFC menunjukan bahwa bahan bakar pertamax merupakan bahan bakar dengan nilai SFC terbaik.

### Daftar Pustaka

- [1] Jayanti N.E., Hakam M., Santiasih, 2014, *Emisi Gas Carbon Monoksida (CO) dan Hidrocarbon (HC) Pada Reayasa Jumlah Blade Turbo Ventilator Sepeda Motor "Supra X 125 Tahun 2006*, Jurnal Teknik Mesin Vol. 16, No. 02, pp. 1-6.

- [2] Kurniawan D., 2021, *Catat Ambang Batas Emisi Gas Buang Sepeda Motor*. Retrieved from Naik Motor: <https://www.naikmotor.com/168199/ambang-batas-emisi-gas-buang-sepeda-motor-2-tak-dan-4-tak-berbeda>.
- [3] Handayani S.U., 2006, *Pemanfaatan Bio Ethanol Sebagai Bahan Bakar Pengganti Bensin*. *GEMA TEKNOLOGI Vol 15 NO.2*, 99-102.
- [4] Putra Y., Martias M., Alwi E., 2014, *Pengaruh Pencampuran Premium Dan Metanol Terhadap Emisi Gas Buang Sepeda Motor Vario Techno PGM-FI*, *Automotive Engineering Education Journals Vol. 3 No. 2*.
- [5] Budiatma H., 2021, *Pengertian Metanol, kegunaan, Struktur dan rumus molekul*. Retrieved from Usaha321: <https://usaha321.net/pengertian-metanol-kegunaan-struktur-dan-rumus-molekul.html>
- [6] Kosasih D.T., 2020, *Mengenal Pengertian Horse Power dan Torsi pada Kendaraan*. Retrieved from Liputan 6: <https://www.liputan6.com/otomotif/read/4396804/mengenal-pengertian-horse-power-dan-torsi-pada-kendaraan>.
- [7] Indra, 2020, *Arti Torsi dan Tenaga Pada Spesifikasi Mesin Mobil Kamu*, Retrieved from Toyota: <https://www.toyota.astra.co.id/toyota-connect/news/arti-torsi-dan-tenaga-pada-spesifikasi-mesin-mobil-kamu>.
- [8] Mazelisonk, 2013, *Standar Pemakaian Bahan Bakar Spesifik (SFC) Mesin Diesel Sesuai SPLN 79:1987*, Retrieved from Aranio Wordpress: <https://aranio.wordpress.com/2013/07/26/standar-pemakaian-bahan-bakar-spesifik-sfc-mesin-diesel-sesuai-spln-791987/>.
- [9] Siswantoro, Lagiyono, Siswiyanti, 2012, *Analisa Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor 4 Tak Berbahan Bakar Campuran Premium dengan Variasi Penambahan Zat Aditif*, *Jurnal Engineering*, Vol. 4, No. 1, pp. 75-84.
- [10] Nugroho, A. S., 2015. *Pengaruh Campuran Metanol Terhadap Prestasi Mesin*. *Prosiding SNATIF Ke-2 Tahun 2015*, 441-446.



# Studi Laju Pembentukan Biogas Dan Komposisi Biogas Pada Digester Bertingkat (Studi Kasus Perbandingan Digester Tingkat 1 Dan 3

Agus Andika Saputra , Tjokorda Gde Tirta Nindhia, I Wayan Bandem Adnyana  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

Biogas yang di buat memakai alat digester anaerobik telah banyak dikembangkan di Indonesia bahkan juga diseluruh dunia dengan berbagai bentuk dan jenis yang sangat beragam. Digester yang banyak digunakan di Bali khususnya adalah digester dengan bentuk fixed dome, jenis digester ini dapat menampung limbah peternakan sapi dengan jumlah yang besar. Tujuan penelitian ini, untuk mengetahui laju pembentukan biogas pada digester tingkat 1 dan 3 dan mengetahui komposisi biogas yang dihasilkan pada digester tingkat 1 dan 3. Metode penelitian yang akan digunakan adalah metode penelitian eksperimental. Bahan – bahan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu limbah kotoran ternak sapi bali dengan pakan rumput gajah yang didapatkan dari simantri 369 Br. Sumampun, Desa Kemenuh, Kecamatan Sukawati Kabupaten Gianyar, Provinsi Bali. Hasil penelitian ini, yaitu limbah yang keluar dari digester tingkat 1 masih dapat digunakan atau masih dapat menghasilkan biogas yang baik sampai dengan pada digester tingkat ke 3. Produksi biogas dari limbah yang keluar pada digester tingkat ke 3 masih dapat menghasilkan biogas sebanyak 758 liter selama 30 hari. Dan digester ke 1 dapat menghasilkan biogas sebanyak 993 liter selama 30 hari. Komposisi biogas yang terkandung pada digester portable bertingkat tingkat ke 3 yaitu kandungan  $CH_4$  nya lebih tinggi di awal sampai dengan pertengahan di bandingkan dengan digester tingkat ke 1, sedangkan kandungan  $CO_2$  yang terdapat pada biogas digester tingkat ke 3 diawal lebih rendah dibandingkn dengan digester tingkat ke 1. Produksi v biogas pada digester portable bertingkat tingkat ke 3 juga dapat menghidupkan genzet 4 tak berkapasitas 1000 watt, selain itu juga biogas yang di hasilkan oleh digester portable bertingkat tingkat ke 3 juga dapat digunakan untuk menghidupkan kompor sebagai sarana untuk memasak.

Kata kunci: Biogas, Digester Bertingkat

## Abstract

Biogas that can be made using an anaerobic digester has been widely developed in Indonesia and even throughout the world with various forms and very diverse types. Digesters that are widely used in Bali are digesters with a fixed dome shape, this type of digester can accommodate large amounts of cattle farm waste. The purpose of this study was to determine the rate of biogas formation in the level 1 and 3 digesters and to determine the composition of the biogas produced at the level 1 and 3 digesters. The research method that will be used is an experimental research method. The materials used in this study was the waste of bali cattle dung with elephant grass feed obtained from simantri 369 Br. Sumampun, Kemenuh Village, Sukawati District, Gianyar Regency, Bali Province. The results of this study were the waste that comes out of the level 1 digester can still be used or can still produce good biogas up to the level 3 digester. day. And the first digester can produce as much as 993 liters of biogas for 30 days. The composition of the biogas contained in the 3rd level portable digester is that the  $CH_4$  content is higher at the beginning to the middle compared to the 1st level digester, while the  $CO_2$  content contained in the 3rd level biogas digester is lower than the 1st level digester. The biogas production in the 3rd level portable digester can also turn on a 4 stroke generator with a capacity of 1000 watts, besides that the biogas produced by the 3rd level portable digester can also be used to turn on the stove as a means for cooking.

Keywords: Biogas, Multilevel Digester

## 1. Pendahuluan

Di Indonesia, masyarakat sudah tidak asing lagi dengan energy biogas. Biogas di kembangkan dengan program sistem pertanian terintegrasi (Simantri) dan di perkenalkan oleh pemerintah Bali dalam rangka untuk memajukan sistem pertanian yang ada. Biogas dapat di buat memakai alat digester anaerobic yang saat ini sudah banyak di kembangkan dengan berbagai bentuk dan jenis yang beragam. Digester yang banyak digunakan di bali adalah digester dengan bentuk fixed dome, jenis digester ini dapat menampung limbah peternakan sapi dengan jumlah yang besar. Digester ini ditempatkan di lokasi – lokasi yang terjangkau dan tidak dapat dipindahkan ke lain

tempat. Namun, masih banyak peternak – peternak yang berada disebuah desa dipedalam yang memiliki sapi dengan jumlah sedikit yang kadang kala berpindah – pindah tempat peternakan. Bukan hanya itu, digester jenis fixed dome ini perawatannya juga sulit dikarenakan membutuhkan biaya dan tenaga yang lumayan besar untuk mengeluarkan limbah kotoran yang sudah mengeras didalam digester jenis fixed dome ini.

Gas yang dihasilkan dari digester fixed dome ini juga belum sepenuhnya murni. Hal ini dikarenakan gas metana yang ada didalam digester ini masih bercampur dengan air ( $H_2O$ ), yang apabila gas yang ada didalam digester ini masih bercampur dengan air maka akan mempengaruhi penurunan produksi biogas [1] Sebab dari kekurangan

digester fixed dome itu sendiri dibutuhkan digester yang fleksibel dan efektif seperti multi-stage digester/digester bertingkat.

Agar dapat memaksimalkan pengolahan limbah kotoran sapi, digester biogas dibuat bertingkat. Pada tahap pertama terjadi proses hidrolisis. Pada tahap ini bahan yang tidak mudah larut diubah menjadi bahan yang larut dalam air seperti asam lemak dan karbohidrat. Pada digester tingkat ketiga terjadinya proses asetogenesis yang berasal dari proses asidogenesis, pada tahap ini terjadi pembentukan asam asetat yang kemudian diubah oleh bakteri acetogenic ke prekursor biogas (hidrogen, asam asetat dan karbon dioksida). Oleh sebab itu, penulis melakukan penelitian untuk mengetahui laju pembentukan biogas dan komposisi biogas pada digester bertingkat (studi kasus perbandingan digester tingkat 1 dan 3).

## 2. Dasar Teori

### 2.1. Biogas

Biogas adalah gas yang di hasilkan melalui campuran fermentasi limbah kotoran sapi maupun bahan – bahan organik dari bakteri – bakteri anaerob (bakteri – bakteri yang hidup didalam kondisi yang kedap udara). Bakteri – bakteri ini berada disemua jenis – jenis bahan organik yang dapat diproses untuk membentuk biogas. Jenis bahan – bahan organik homogen seperti kotoran dan urine pada hewan – hewan ternak yang baik untuk komposisi biogas sederhana. Tahapan – tahapan dalam pembentukan biogas adalah hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis [2].

### 2.2. Pengertian Digester

Digester merupakan alat penghasil biogas dari limbah – limbah organik, yang bekerja menggunakan prinsip menciptakan suatu tempat untuk menampung bahan organik pada kondisi tanpa oksigen sehingga bahan – bahan organik tersebut bisa difermentasikan oleh bakteri sehingga dapat menghasilkan biogas. Biogas yang timbul lalu akan dialirkan menuju tempat penampungan biogas sedangkan lumpur – lumpur sisa aktifitas fermentasi dikeluarkan dan dijadikan sebagai pupuk alami yang juga bisa dimanfaatkan sebagai usaha pertanian. Digester biogas juga memiliki tiga macam tipe yaitu tipe *fixed dome plant*, *floating drum plant*, dan *ballon plant* [3].

### 2.3. Fixed Dome Plant

Digester ini mempunyai penampungan gas dibagian atas digester. Ketika gas mulai muncul, gas itu akan menekan lumpur sisa dari fermentasi (sulurry) ke bak slurry. Apabila pemasukan kotoran ternak dimasukan secara terus menerus, maka gas yang ditimbulkan akan terus menekan slurry sampai keluar dari bak slurry. Gas yang ditimbulkan tertampung pada bagian atas kotoran yang mengalami fermentasi dan akan keluar melalui pipa gas yang ada di atas digester menuju ke penampungan. Keunggulannya adalah tidak adanya bagian yang bergerak, tahan lama, di bangun dibawah tanah sehingga terlindung dari berbagai cuaca, dan juga tidak memerlukan ruang di atas

tanah. Kelemahannya adalah rawan terjadinya sebuah retakan pada bagian penampung gas, tekanan gas yang tidak stabil dikarenakan tidak adanya katup gas [3].

## 3. Metode Penelitian

Metode penelitian yang akan digunakan adalah metode penelitian eksperimental (true experimental research)

### 3.1. Variabel Penelitian

1. Variabel bebas pada penelitian ini adalah waktu produksi biogas digester tingkat 1 dan 3 dengan lama pengamatan 30 hari.
2. Variabel terikat pada penelitian ini adalah laju pembentukan biogas dan komposisi biogas pada digester tingkat 1 dan 3.

### 3.2. Alat dan Bahan Penelitian

Alat

Las listrik heavy duty 160a, gerinda Bosch GWS 060 4 inch, bor duduk (mesin gurdi), biogas analiser, stick blender, volume meter, pompa biogas. Bahan. Limbah kotoran ternak sapi bali dengan pakan rumput gajah yang didapatkan dari simantri 369 Br. Sumampun, Desa Kemenuh, Kecamatan Sukawati Kabupaten Gianyar, Provinsi Bali.

### 3.3. Tahapan Pembuatan Digester Bertingkat

1. Drum oli berkapasitas 220 liter berdiameter 56cm dengan ketebalan drum  $\frac{1}{2}$  mm dan tinggi 89cm dicuci.
2. Drum dilubangi bagian samping bawah kanan dan kiri dengan diameter 3 inch dan dilubangi juga bagian atas drum berbentuk persegi panjang dengan ukuran panjang 30 cm dan lebar 20 cm.
3. Plat besi dan besi galvanis di potong dengan panjang 40 cm dan lebar 30 cm.
4. Besi cor berukuran 10 mm dipotong sepanjang 1.5 m dan di roll agar berbentuk bulat dengan diameter 45 cm.
5. Dibuatkan pipa galvanis berdiameter 1 inch dengan panjang 73.5 cm dan besi galvanis longdrat M20 dan panjang 1 m.
6. Dibuatkan bosing as berbahan nilon dibubut dengan ukuran 35 mm dan panjang 40 mm dan lubang tengah 20 mm agar besi galvanis longdart M20 bisa masuk kedalam lubang tengah bosing as, lalu mixer menggunakan besi cor yang berukuran 10 mm dan dipotong kemudian di las berbrntuk U sepanjang 65 cm dan dibagi menjadi dua lalu diberi mata pisau pada bagian mixer agar mencegah terjadinya scum.
7. Pipa galvanis diameter 3 inch di potong menjadi dua bagian dengan ukuran masing-masing 80 dan 35.5 cm.
8. Plat besi dipotong berbentuk trapesium sama kaki menjadi 4 bagian dengan ukuran panjang atas 30 cm, bawah 20 cm, tinggi 20 cm, dan sebagai alasnya megggunakan plat besi

- berbentuk persegi dengan ukuran 20 cm x 20 cm dengan tebal plat besi 1 mm
9. Plat besi tersebut dilubangi bagian tengahnya dengan diameter 3 inch lalu potong pipa galvanis diameter 3 inch dengan masing-masing ukuran panjang 50 cm dan 35.5 cm sebagai water level kotoran sapi.
  10. Potong plat besi berukuran 20 cm x 20 cm dengan tebal 1 mm sebanyak 4 biji lalu 2 biji dari plat besi di lubangi bagian tengah dengan ukuran 3 inch lalu semua potongan plat besi di buat lubang untuk baut dan selanjutnya las 2 plat besi yang sudah dilubangi pada bagian out let dan inlet yang berfungsi untuk mencegah kotoran keluar.
  11. Keran ½ vvc, nosel ½ vvc, lem pipa, keran 1.5 dim, berfungsi sebagai keluaran gas pada digester bertingkat atau multistage.
  12. Setelah semua bahan - bahan sudah lengkap, perakitan digester bertingkat atau *multistage* dapat dilakukan.

### 3.4. Metode Pengambilan Data

Limbah kotoran sapi dan air dimasukkan kedalam digester bertingkat yang menggunakan kontinyu system, limbah kotoran sapi yang sudah bercampur rata dengan air dimasukkan kedalam digester bertingkat pertama dengan campuran 1:1 lalu aduk satu hari tiga kali selama 5 menit dan digester diisi kotoran setiap setiap 2 hari sekali. Kotoran sapi dimasukkan kedalam digester pertama lalu kotoran keluar dari digester pertama dimasukkan kedalam digester kedua lalu kotoran keluar digester kedua dimasukkan kedalam digester ketiga lalu kotoran keluar dari digester ketiga dimasukkan kedalam digester keempat. Untuk mengetahui berapa liter masing – masing digester menghasilkan gas dan juga kandungan – kandungan setiap digester, maka digunakan volume meter dan biogas analizer yang dibantu pompa biogas guna untuk mengetahui jumlah produksi biogas dan juga kandungan CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> biogas pada masing – masing digester.

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1. Data Pengamatan

Pengukuran dan pengujian produksi biogas (liter) dilakukan dengan menggunakan cara menampung produksi biogas yang dihasilkan per hari dari digester portable bertingkat 220 liter, yang berbahan dasar drum oli dan dilengkapi dengan agitator kedalam penampung biogas. Setelah itu dilakukan pengukuran ketinggian penampung biogas dengan menggunakan meteran guna untuk mengetahui produksi biogas yang dihasilkan dari digester tingkat 1 dan digester tingkat 3 setiap harinya. Setelah melakukan pengukuran produksi biogas, selanjutnya dilakukan pengujian kandungan biogas atau komposisi biogas menggunakan biogas analizer. Pengujian komposisi biogas menggunakan biogas analizer adalah untuk mengetahui kadar CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, dan H<sub>2</sub>S pada biogas. Selanjutnya ketika

penampungan biogas sudah terisi dengan penuh, maka akan dilakukan pengukuran dan pengujian secara kumulatif menggunakan volume meter, pompa biogas, dan biogas analizer. Hasil dari pengukuran ada pada Tabel 1 dan 2.

**Tabel 1. Pengujian sistem kontinu produksi dan komposisi biogas pada digester portable bertingkat kapasitas 220 liter pada digester tingkat 1.**

	Waktu (Hari)	Produksi Biogas (l)	Komposisi Biogas	
			CH <sub>4</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)
DIGESTER TINGKAT 1	1	53	66	34
	2	35	63	37
	3	14	67	25
	4	24	69	31
	5	33	22	24
	6	47	31	34
	7	41	58	34
	8	27	63	37
	9	61	40	40
	10	29	59	36
	11	11	60	40
	12	33	58	42
	13	61	40	39
	14	29	59	40
	15	12	55	45
	16	26	64	36
	17	53	35	28
	18	21	49	41
	19	9	55	27
	20	23	70	30
	21	30	72	28
	22	46	30	28
	23	47	61	28
	24	14	62	38
	25	30	75	25
	26	55	36	33
	27	35	59	30
	28	11	66	32
	29	30	68	32
	30	53	46	40
	Total	993		

**Tabel 2. Pengujian sistem kontinu produksi dan komposisi biogas pada digester portable bertingkat kapasitas 220 liter pada digester tingkat 3.**

	Waktu (Hari)	Produksi Biogas (l)	Komposisi Biogas	
			CH <sub>4</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)
DIGESTER TINGKAT 1	1	61	65	35
	2	33	66	34
	3	11	67	33
	4	23	68	32
	5	41	27	31
	6	53	35	30
	7	42	63	33

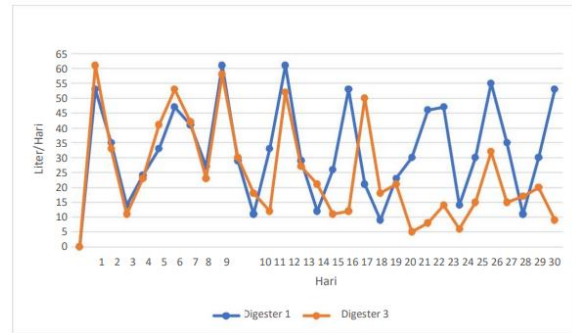


8	23	67	33
9	58	38	28
10	30	58	33
11	18	64	36
12	12	60	40
13	52	34	30
14	27	52	36
15	21	58	42
16	11	60	40
17	12	71	29
18	50	33	26
19	18	45	27
20	21	59	26
21	5	65	30
22	8	67	21
23	14	75	25
24	6	58	42
25	15	74	26
26	32	21	25
27	15	31	31
28	17	42	23
29	20	55	25
30	9	42	58
Total	758		

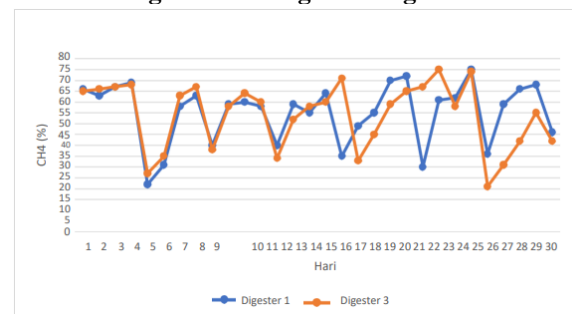
Dari Tabel 1 dan 2 dapat dilihat proses produksi biogas setiap harinya dari digester tingkat 1 dan digester tingkat 3. Jika dilihat dari jumlah produksi biogasnya selama 30 hari, maka dapat dilihat digester tingkat 1 dapat menghasilkan produksi biogas sebanyak 993 liter selama 30 hari dan digester tingkat 3 dapat menghasilkan produksi biogas sebanyak 758 liter selama 30 hari. Dapat dilihat pada Tabel 1 digester tingkat 1 menghasilkan produksi gas terbanyak pada hari ke 9 dan hari ke 13 yaitu pada hari ke 9 mendapatkan produksi sebanyak 61 liter dengan kandungan  $CH_4 = 40\%$ ,  $CO_2 = 40\%$  dan  $H_2S = 0$  ppm, lalu pada hari ke 13 mendapatkan produksi sebanyak 61 liter dengan kandungan  $CH_4 = 40\%$ ,  $CO_2 = 39\%$  dan  $CH_4 = 0$  ppm. Selanjutnya pada Tabel 2 yaitu pada digester tingkat ke 3 menghasilkan produksi gas terbanyak pada hari ke 1 dengan mendapatkan gas sebanyak 61 liter dengan kandungan  $CH_4 = 65\%$ ,  $CO_2 = 35\%$  dan  $H_2S = 0$  ppm. Dari data diatas dapat dibuatkan grafik.

Dapat dilihat pada Gambar 1 produksi biogas harian pada digester, dimana produksi biogas awal pada digester ke 3 cukup tinggi dan hamper nyaingi digester ke 1, sedangkan pada hari ke 30 produksi biogas digester ke 3 lebih sedikit di banding digester ke 1.

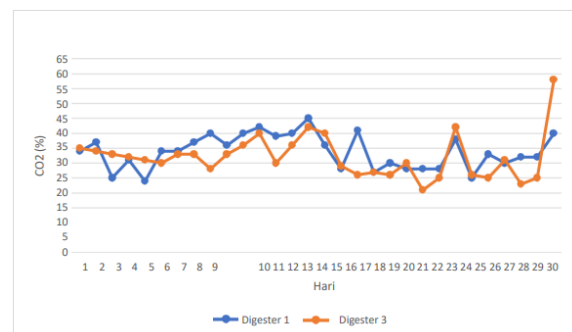
Dapat dilihat pada Gambar 2 komposisi  $CH_4$  digester ke 3 lebih tinggi diawal sampai dengan pertengahan dibandingkan digester ke 1.



**Gambar 1. Grafik Produksi biogas harian digester bertingkat kapasitas 220 liter digester tingkat 1 dan digester tingkat 3**



**Gambar 2. Grafik komposisi  $CH_4$  dalam biogas digester tingkat 1 dan 3**



**Gambar 3. Grafik kandungan  $CO_2$  pada biogas digester tingkat 1 dan tingkat 3**

Dapat dilihat pada Gambar 3, kandungan  $CO_2$  pada digester tingkat 3 lebih rendah diawal sampai pertengahan dibandingkan digester ke 1, sedangkan pada hari ke 30 kandungan  $CO_2$  pada biogas digester tingkat ke 3 memiliki lebih banyak  $CO_2$  dari pada digester tingkat ke 1.

#### 4.2. Pembahasan

Pada Gambar 1 di tunjukan bahwa produksi biogas di hari pertama sampai pertengahan produksi biogas hampir sata – rata sama. Sedangkan pada hari akhir produksi biogas digester tingkat ke 1 lebih tinggi dan produksi digester tingkat ke 3 sudah menurun. Hal ini disebabkan karena limbah digester ke 1 adalah limbah baru sedangkan limbah digester ke 3 adalah limbah keluaran dari digester ke 1 dan ke 2. Dapat dilihat pada Gambar 1 produksi biogas pada tertinggi pada hari pertama adalah biogas yang dihasilkan oleh digester tingkat ke 3 dengan produksi sebanyak 61 liter dengan kandungan  $CH_4 =$

65%,  $\text{CO}_2 = 35\%$  dan  $\text{H}_2\text{S} = 0$  ppm, sedangkan digester tingkat 1 pada hari pertama memproduksi sebanyak 53 liter dengan kandungan  $\text{CH}_4 = 66\%$ ,  $\text{CO}_2 = 34\%$  dan  $\text{H}_2\text{S} = 0$  ppm. Selanjut pada hari ke 9 produksi tertinggi di hasilkan oleh digester tingkat 1 dengan jumlah produksi sebanyak 61 liter dengan kandungan  $\text{CH}_4 = 40\%$ ,  $\text{CO}_2 = 40\%$  dan  $\text{H}_2\text{S} = 0$  ppm, sedangkan digester tingkat 3 pada hari ke 9 dapat memproduksi biogas sebanyak 58 liter dengan kandungan  $\text{CH}_4 = 38\%$ ,  $\text{CO}_2 = 28\%$  dan  $\text{H}_2\text{S} = 0$  ppm. Selanjutnya dari hari ke 9 sampai dengan hari ke 30 digester tingkat 1 selalu memproduksi biogas yang paling banyak, sampai dengan di hari ke 30 dimana digester tingkat 1 masih tetap memproduksi biogas sebanyak 53 liter dengan kandungan  $\text{CH}_4 = 46\%$ ,  $\text{CO}_2 = 40\%$  dan  $\text{H}_2\text{S} = 0$  ppm, sedangkan pada digester tingkat ke 3 dapat di lihat pada gambar 4.1 dimana pada hari ke 30 produksi biogas digester tingkat ke 3 menurun dan dapat menghasilkan biogas sebanyak 9 liter dengan kandungan  $\text{CH}_4 = 42\%$ ,  $\text{CO}_2 = 58\%$  dan  $\text{H}_2\text{S} = 0$  ppm. Perbedaan produksi biogas yang di hasilkan digester tingkat ke 1 dan digester tingkat ke 3 disebabkan oleh limbah yang digunakan pada digester tingkat ke 1 adalah limbah baru, sedangkan limbah yang digunakan pada digester tingkat ke 3 adalah limbah keluaran dari digester tingkat ke 1 yang di masukan ke digester tingkat ke 2 lalu limbah yang keluar dari digester tingkat ke 2 digunakan atau dimasukan kedalam digester tingkat ke 3. Selain adanya 4 tahapan – tahapan biogas dan pencernaan kimia anaerobik yaitu yang pertama hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis [1]. Pada Langkah pertama yaitu hidrolisis adalah dimana kompleks bahan organik (polimer) didekomposisi sehingga menghasilkan unit yang lebih kecil (mono dan oligo). Proses hidrolisis memerlukan perantara enzim yang diekskresi dengan bakteri fermentatif. Proses hidrolisis lebih lanjut menghasilkan produk yang diuraikan oleh mikroorganisme yang ikut serta dan dipergunakan sebagai proses metabolisme mereka sendiri. Selanjutnya pada proses asidogenesis produk yang dihasilkan hidrolisis akan dikonversi oleh bakteri asidogenik sebagai substrak metanogen. Seterusnya proses asetogenesis produk yang di hasilkan oleh asidogenesis tidak langsung dapat diubah menjadi metana oleh bakteri metanogenik akan diubah sebagai substrak metanogen. Lalu metanogenesis pada proses metanogenesis hidrogen diubah menjadi metana [4].

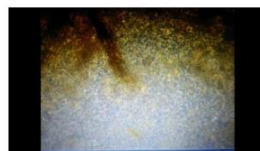
Pada Gambar 2 di tunjukan bahwa kandungan  $\text{CH}_4$  digester tingkat ke 3 hari ke 8 lebih tinggi dibandingkan digester tingkat 1,  $\text{CH}_4$  digester tingkat 3 pada hari ke 8 adalah sebanyak 67% sedangkan kandungan  $\text{CH}_4$  pada digester tingkat 1 pada hari ke 8 adalah sebanyak 63 %. Hal ini karenakan limbah yang dimasukan pada digester tingkat ke 3 adalah limbah yang berasal dari outlet digester tingkat ke 2, sedangkan limbah pada digester tingkat ke 1 adalah limbah baru. Yang dimana proses metanogenesis

digester tingkat ke 3 lebih mendonasi. Adapun proses keempat pada tahapan - tahapan pembentukan biogas yaitu metanogenesis, yang dimana pada proses metanogenesis pembentukan metana terjadi dibawah kondisi anaerobik yang ketat (respirasi karbonat) (Steinhauser & Deublein, 2011). Produksi metana dan karbondioksida dilakukan oleh bakteri metanogen, 70% dari metana yang terbentuk bersumber dari asetat, sebaliknya 30% sisanya berasal dari konversi hidrogen (H) serta karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) [4].

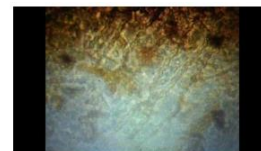
Pada Gambar 3 di tunjukan bahwa kadungan  $\text{CO}_2$  pada digester tingkat 1 dan digester tingkat 3 selama 30 hari lebih rendah digester tingkat 3. Hal ini disebabkan karena campuran kotoran limbah sapi dan air pada digester tingkat ke 1 dan tingkat ke 3 adalah sama yaitu dengan perbandingan 1:1 yaitu 2,5 liter kotoran sapi dan 2,5 liter air. Pengisian limbah kotoran sapi dilakukan setiap 2 hari sekali selama 30 hari, hal ini yang menyebabkan 3 proses awal bertahan lebih lama yaitu hidrolisis, asidogenesis dan asetogenesis. Sehingga mengakibatkan kandungan  $\text{CO}_2$  di awal lebih rendah dan diakhir lebih tinggi [1]. pada tahap hidrolisis selama proses dekomposisi, polimer seperti karboidrat, lipid, asam nukleat, dan protein diubah menjadi glukosa, gliserol, purin dan pirimidin. Selanjutnya pada tahap asidogenesis gula sederhana, asam amio, dan asam lemak terdegradasi menjadi asetat, karbondioksida dan hidrogen (70%) serta menjadi Volatile Fatty Acid (VFA) dan alkohol (30%). Selanjutnya pada proses asetogenesis produk dari asidogenesis produk yang tidak dapat diubah secara langsung menjadi metana dengan bakteri metanogen diubah menjadi substrak metanogen [4].

Selain melakukan pengukuran produksi biogas dan juga komposisi biogas, pada penelitian ini juga melakukan pengamatan pada bakteri – bakteri yang terdapat didalam limbah kotoran sapi dengan menggunakan microscope. Berikut adalah foto – foto bakteri yang terdapat pada kotoran sapi digester tingkat ke 1 dan digester tingkat ke 3:

Minggu ke 1



Gambar 4. Digester ke 1



Gambar 5. Digester ke 2

Minggu ke 2

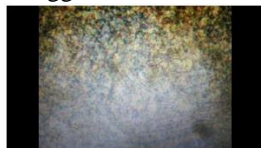


Gambar 6. Digester ke 1



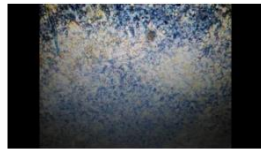
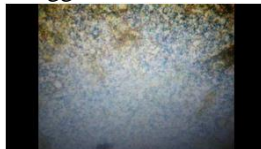
Gambar 7. Digester ke 2

Minggu ke 3



Gambar 8. Digester ke 1 Gambar 9. Digester ke 2

Minggu ke 4



Gambar 10. Digester ke 1 Gambar 11. Digester ke 2

Dapat dilihat pada foto – foto bakteri pada minggu ke 1 hingga minggu ke 4 pada gambar diatas, terlihat pada gambar diatas pada minggu pertama pada digester ke 1 dan ke 3 jumlah bakterinya masih sama – sama banyak di karenakan suplai makanan masih banyak, sedangkan pada minggu ke 2 dan ke 3 bakteri yang terdapat pada digester ke 3 jumlah nya lebih sedikit dibandingkan digester ke 1, ini dikarenakan suplai makanan yang ada pada digester ke 3 mulai sedikit. Sedangkan pada minggu ke 4 jumlah bakteri pada digester ke 3 sangat sedikit dibandingkan digester ke 1, hal ini dikarenakan suplai makanan untuk bakteri pada digester ke 3 pada minggu ke 4 sangat sedikit dibandingkan digester ke 1. Hal ini disebabkan karena digester ke 1 terus mendapatkan limbah baru sedangkan digester ke 3 mendapatkan limbah yang keluar dari digester 1 dan digester 2, hal ini yang menyebabkan suplai makanan pada minggu 3 dan ke 4 bakteri pada digester ke 3 sangat sedikit dikarenakan sedikitnya suplai makanan untuk bakteri.

## 5. Kesimpulan

Dari data pada tabel diatas, produksi biogas serta  $\text{CH}_4$ , dan  $\text{CO}_2$  pada digester tingkat ke 1 dan juga digester tingkat ke 3 selama 30 hari dapat di simpulkan bahwa :

1. Laju pembentukan biogas pada digester tingkat ke 3 masih dapat menghasilkan biogas sebanyak 758 liter selama 30 hari. Dan digester ke 1 dapat menghasilkan biogas sebanyak 993 liter selama 30 hari.
2. Komposisi biogas yang dihasilkan pada digester portable bertingkat tingkat ke 3, kandungan  $\text{CH}_4$  nya lebih tinggi di awal sampai pertengahan di bandingkan digester tingkat ke 1, sedangkan  $\text{CO}_2$  di awal lebih rendah dibandingkan dengan digester tingkat ke 1.

## Daftar Pustaka

- [1] Sebayuana S., Nindhia, T.G.T., Surata IW., 2019, *Rancang Bangun Digester Biogas Portabel Berbahan Stainless Steel Dilengkapi*

*Agitator*, Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika, Vol. 8, No. 1, pp. 464–469.

- [2] Hastuti D., 2009, *Aplikasi Teknologi Biogas Guna Menunjang Kesejahteraan Petani Ternak*. Mediagro, Vol. 5, No. 1, pp. 20–26.
- [3] Sunaryo, 2014, *Rancang Bangun Reaktor Biogas untuk Pemanfaatan limbah Kotoran Ternak Sapi di Desa Iimbangan Kabupaten Banjarnegara*. Jurnal PPKM UNSIQ, Vol. 1 No. 1, pp. 21–30.
- [4] Megawati M., 2014, *Pengaruh Penambahan EM4 (Effective Microorganism-4) pada Pembuatan Biogas Dari Eceng Gondok dan Rumen Sapi*. Jurnal Bahan Alam Terbarukan, Vol. 3, No. 2, pp. 42–49.



I Komang Agus Andika Saputra Wiguna telah menyelesaikan Pendidikan S1 Teknik Mesin di Universitas Udayana dari tahun 2017 hingga 2021 dengan topic penelitian Studi Laju Pembentukan Biogas Dan Komposisi Biogas Pada Digester Bertingkat (Studi Kasus Perbandingan Digester Tingkat 1 dan 3)

Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan Biogas, khususnya yang berkaitan dengan Limbah Kotoran Sapi..

# Studi Laju Pembentukan Biogas Dan Komposisi Biogas Pada Digester Bertingkat (Studi Kasus Perbandingan Digester Tingkat 1 Dan 4)

Widya Pradnyana, Tjokorda Gde Tirta Nindhia, dan I W. Bandem Adnyana  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali 80362

## Abstrak

Di masa saat ini tenaga serta bahan bakar telah menjadi kebutuhan warga yang sangat berarti. Pasokan buat memperoleh tenaga serta bahan bakar masih didominasi oleh sumber tenaga fosil yang tidak bisa diperbaharui ialah minyak bumi, batubara, serta gas alam. Hingga dari itu dibutuhkanlah tenaga alternatif yang ramah area serta mempunyai sumber yang bisa diperbaharui ialah biogas. Buat menciptakan biogas diperlukan reaktor biogas( digester) yang ialah sesuatu instalasi kedap hawa sehingga proses dekomposisi bahan organik hendak bisa berjalan secara optimum. Terdapat sebagian tipe digester biogas yang dibesarkan antara lain merupakan digester jenis Fixed- Dome plant, Floating Drum plant, Baloon plant. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa produksi biogas yang dihasilkan dari digester tingkat 1 (pertama) sebanyak 993 liter dan digester tingkat 4 (keempat) sebanyak 728 liter selama 30 hari. Setelah itu pada hari pertama hingga hari terakhir pada digester tingkat 1 (pertama) mendapatkan kandungan biogas tertinggi pada hari ke 25 sebanyak  $CH_4 = 75\%$ ,  $CO_2 = 25\%$ . Lalu pada hari pertama hingga hari terakhir digester tingkat 4 (keempat) mendapatkan kandungan biogas yang tertinggi pada hari ke 25 sebanyak  $CH_4 = 75\%$ ,  $CO_2 = 25\%$ .

Kata kunci : Digester bertingkat, Limbah kotoran ternak, Biogas

## Abstract

In the current era, energy and fuel have become very important needs of the people. The supply for energy and fuel is still dominated by non-renewable fossil energy sources, namely oil, coal and natural gas. Therefore, alternative energy that is environmentally friendly and has a renewable source is needed, namely biogas. To produce biogas, a biogas reactor (digester) is needed which is an airtight installation so that the decomposition process of organic matter will run optimally. There are several types of biogas digesters that are raised, including the Fixed-Dome plant digester, Floating Drum plant, and Baloon plant. The results of this study indicate that the biogas production produced from the digester level 1 (first) is 993 liters and the digester level 4 (fourth) is 728 liters for 30 days. After that on the first day until the last day the digester level 1 (first) got the highest biogas content on day 25 as much as  $CH_4 = 75\%$ ,  $CO_2 = 25\%$ . Then on the first day until the last day the digester level 4 (fourth) gets the highest biogas content on day 25 as much as  $CH_4 = 75\%$ ,  $CO_2 = 25\%$ .

Keywords : Multilevel Digester, Livestock Manure, Biogas

## 1. Pendahuluan

Di era saat ini energi dan bahan bakar sudah menjadi kebutuhan masyarakat yang sangat penting. Tidak hanya itu ketersediaan tenaga fosil di dalam bumi ini secara kilat ataupun lelet hendak terus menjadi menipis .

Maka dari itu dibutuhkanlah tenaga alternatif yang ramah area atau lingkungan serta mempunyai sumber yang bisa diperbaharui dan tidak terdengar asing lagi dikalangan masyarakat Indonesia khususnya pada masyarakat Bali yaitu dengan memanfaatkan limbah kotoran ternak sapi sebagai sumber bahan bakar dalam bentuk Biogas. Di Bali khususnya juga sudah menerapkan sistem pengolahan limbah ternak sapi yang dikembangkan melalui program Simantri (Sistem Pertanian Terintegrasi).

Pada umumnya digester yang sering digunakan pada sistem pertanian terintegrasi di Bali menggunakan digester *fixed dome*. Dan digester *fixed dome* ini biasanya dibuat di lahan yang cukup luas, terjangkau dari kalangan masyarakat, dan tidak dapat dipindah-pindahkan ketempat lain dengan berbahan dasar beton dan fiber. Sedangkan banyak perternak sapi kecil yang tempat tinggalnya di pedalaman sulit untuk menjangkaunya. Berdasarkan kekurangan dari model *fixed dome* maka digester *fixed dome* ini sangat kurang efektif untuk digunakan pada kalangan masyarakat yang tempat tinggalnya berada di pedalaman atau jauh dari pemukiman. Tentu saja, untuk menghasilkan biogas secara optimal dibutuhkanlah reaktor biogas (*digester*) yang sangat-sangat efektif seperti digester bertingkat (*multi-stage*) dimana proses yang dilakukan didalam empat

buah digester atau lebih dikerjakan secara seri atau bertahap agar menghasilkan biogas yang sangat bagus dan tidak perlu memurnikannya lagi karena biogas yang dihasilkan sudah sangat efektif untuk digunakan sehari-hari dan juga mempermudah para petani atau peternak sapi memanfaatkan biogasnya secara optimal (Purnama, C., 2009) [1].

Dalam hal ini ada beberapa yang harus dikaji yaitu:

1. Bagaimana laju pembentukan biogas yang dihasilkan digester tingkat 1 dan digester tingkat 4
2. Bagaimana komposisi biogas yang dihasilkan dari digester tingkat 1 dan digester tingkat 4

Sebagian batas permasalahan dalam riset ini ialah:

1. Bahan limbah yang digunakan merupakan limbah kotoran ternak sapi yang dicampur air dengan perbandingan 1: 1 ataupun dengan perbandingan volume 1 liter air serta 1 liter kotoran sapi.
2. Digester diisi limbah secara *batch sistem* selama 30 hari dan kontinu sistem selama 30 hari, selanjutnya di operasikan secara *kontinu sistem*.
3. Digester bertingkat diisi limbah secara *kontinu sistem* sebanyak 5 liter (2,5 liter kotoran sapi + 2,5 liter air) setiap 2 hari.
4. Digester bertingkat yang dilengkapi dengan agitator diaduk secara manual pada setiap pagi, siang, dan sore selama 5 menit menggunakan *stopwatch*.
5. Drum yang digunakan untuk digester bertingkat ini berkapasitas 220 liter.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Biogas

Biogas ialah salah satu sumber tenaga terbarukan sebab keberadaan bahan baku hendak terus terdapat sepanjang kehidupan ini masih berlangsung. Biogas mempunyai isi utama ialah metana serta karbon dioksida namun pula memiliki faktor gas lain.

Komposisi isi utama dari biogas merupakan metana serta karbondioksida. Dengan jumlah kecil komponen lain semacam air, hidrogen sulfida, siloksan, ammonia, oksigen, karbon monoksida, serta nitrogen. Serangkaian proses yang terjalin pada pembuatan biogas ialah meliputi *hidrolisis*, *asidogenesis*, *asetogenesis*, serta *metanogenesis*. (Al Saedi et all, 2008) [2].

### 2.2 Digester

Digester ataupun reaktor merupakan tempat buat penciptaan biogas ataupun perlengkapan penghasil biogas dari limbah organik, yang bekerja dengan prinsip menghasilkan sesuatu tempat penampungan bahan organik pada keadaan anaerob (kedap udara) sehingga bahan organik tersebut bisa difermentasi oleh kuman supaya menciptakan biogas( Sunaryo, 2014) [3].

Ada dua sistem pembentukan biogas pada bangunan digester yaitu *sistem Batch* dan *sistem Continuous*. Sistem Batch Feeding merupakan tipe digester yang pengisian bahan organik dicoba sekali hingga penuh, setelah itu ditunggu hingga menciptakan biogas( Abu- Dahrier et all. 2011) [4]. Sistem Continuous Feeding merupakan pengisian bahan baku organik dicoba tiap hari dalam jumlah tertentu( Abu- Dahrier et all. 2011) [5]. Pada pengisian dini, digester diisi dengan penuh kemudian ditunggu sampai biogas dibuat. Pengisian bahan baku setelah itu dicoba secara kontinu tiap hari dengan jumlah tertentu ataupun..

## 3. Metode Penelitian

Metode penelitian yang hendak digunakan ini merupakan riset eksperimental( true experimental research), ialah melaksanakan pengamatan langsung buat mengenali ikatan karena serta akibat dengan menggunakan satu ataupun lebih perlakuan, serta menyamakan hasil satu dengan yang yang lain yang digunakan selaku perbandingan

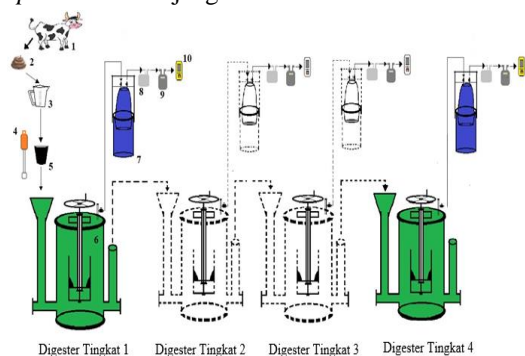
### 3.1 Alat dan Bahan Penelitian

- a) Mesin Travo Las atau Las Listrik Heavy Duty HL 160 dan Elektroda berfungsi sebagai alat utama di dalam pembuatan digester bertingkat ini. Dan berfungsi untuk pengelasan besi galvanis dan stainless steel ukuran elektroda yang digunakan yaitu 2.6 hingga 3.2 mm.
- b) Gerinda Bosch GWS 060 4 Inch berfungsi sebagai alat memotong plat besi dan pipa galvanis untuk merancang bangun digester bertingkat dengan berkapasitas 220 liter.
- c) Biogas Analiser berfungsi untuk mengukur dan mendeteksi kandungan yang ada didalam biogas seperti : CO<sub>2</sub> (*karbondioksida*), CH<sub>4</sub> (*metana*), dan H<sub>2</sub>S (*hidrogen sulfida*) dengan ketelitian CO<sub>2</sub> (*karbondioksida*) : 100% Vol, CH<sub>4</sub> (*metana*) : 100% Vol, dan H<sub>2</sub>S (*hidrogensulfida*) : 999 ppm.
- d) Mesin Gurdi (bor duduk) berfungsi sebagai alat melubangi pada bagian dudukan agitator dan plat besi pada bagian outlet limbah biogas untuk membuat lubang baut agar mencegah terjadinya kebocoran
- e) Stick Blander berfungsi sebagai alat untuk mencampur kotoran sapi dan air dengan perbandingan 1 : 1 agar tercampur dengan rata.
- f) Pompa Biogas berfungsi sebagai memompa biogas dari drum plastik penampungan biogas sementara menuju ke *Volume meter*, dan membantu pengaliran biogas dari bag ke *Biogas analiser*
- g) Volume Meter berfungsi sebagai mengukur produksi atau volume biogas yang dialirkan dari drum penampung biogas sementara menuju kedalam bag, dengan ketelitian 0,001 m<sup>3</sup>.
- h) Gelas Ukur berfungsi untuk mengetahui berapa takaran kotoran sapi dan air yang akan dimasukan kedalam ember pencampuran.

- i) Limbah Kotoran sapi sebagai bahan utama pembuatan biogas.

### 3.2 Instalasi Penelitian

Pertama sapi bali mengeluarkan limbah atau kotoran, lalu limbah atau kotoran sapi ini dimasukan kedalam gelas ukur dengan perbandingan 1:1, dan setelah itu kotoran sapi dimasukan kedalam ember pencampuran lalu diaduk menggunakan *stick blender* agar kotoran sapi dan air tercampur dengan rata. Setelah kotoran sapi tercampur rata dengan air lalu dimasukan kedalam digester bertingkat yang berkapasitas 220 liter dengan menggunakan *batch sistem*, lalu diaduk setiap tiga kali sehari pada pagi, siang, dan sore selama 5 menit menggunakan *stopwatch* dalam jangka waktu 30 hari, lalu alirkan biogas menuju drum penampung biogas sementara, setelah drum penampung biogas sementara terisi dengan penuh oleh biogas selama 30 hari lalu drum penampung biogas dikosongkan kembali. Setelah 30 hari menggunakan *batch sistem*, lalu digester bertingkat ini menggunakan *continuous sistem* yaitu dengan menambahkan kotoran sapi setiap dua hari sekali dengan perbandingan 1 : 1 atau 2,5 liter air dan 2,5 liter kotoran sapi menggunakan ember (gelas ukur). Setelah kotoran sapi tercampur rata dengan air didalam ember pencampuran lalu masukan kotoran sapi kedalam digester pertama dan kotoran sapi yang keluar melalui *water level* digester yang pertama, lalu dimasukan kedalam digester yang kedua, dan setelah itu kotoran sapi yang keluar melalui *water level* digester kedua, dimasukan lagi ke dalam digster yang ketiga, lalu kotoran sapi yang sudah keluar dari digester ketiga akan dimasukan lagi kedalam digester yang terakhir atau yang keempat, lalu kotoran sapi yang keluar melalui *water level* digester keempat ini baik digunakan sebagai pupuk peternakan. Lalu diaduk setiap tiga kali sehari pada pagi, siang, dan sore selama 5 menit menggunakan *stopwatch* dalam jangka waktu 30 hari.



**Gambar 1. Instalasi Digester Biogas Bertingkat (Multi-Stage) Berkapasitas 220 Liter**

Keterangan :

1. Sapi Bali
2. Limbah atau kotoran sapi Bali
3. Gelas ukur
4. *Stick blender*
5. Ember pencampuran

6. Digester berkapasitas 220 liter dilengkapi dengan *agitator*
7. Drum penampung biogas sementara
8. Pompa biogas
9. *Volume meter*
10. *Biogas analiser*

Alirkan biogas menuju drum penampung biogas sementara, jika drum penampung biogas sementara sudah terisi dengan penuh oleh biogas, lalu alirkan biogas dari drum penampungan biogas sementara menuju pompa biogas yang berfungsi sebagai membantu pengaliran biogas dari drum penampung biogas sementara menuju *volum emeter* yang berfungsi untuk mengetahui berapa produksi biogas yang dihasilkan oleh digester bertingkat yang berkapasitas 220 liter, setelah biogas dialirkan melalui pompa biogas, *volumemeter*, lalu cek kandungan atau komposisi biogas menggunakan alat *biogas analiser*, agar dapat mengetahui berapa kandungan  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , dan  $\text{CO}_2$  pada biogas yang dihasilkan oleh digester bertingkat yang berkapasitas 220 liter. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.

### 3.3 Pengambilan Data

Masukan limbah atau kotoran sapi yang sudah tercampur air kedalam digester portabel bertingkat yang berkapasitas 220liter dengan perbandingan 1:1. Dan aduk kotoran sapi yang sudah berada didalam digester bertingkat pada pagi, siang, dan sore selama 5 menit dalam jangka waktu 30 hari, lalu alirkan biogas menuju drum penampungan biogas sementara, setelah drum penampung terisi dengan penuh lalu alirkan biogas menuju *pompa biogas*, *volume meter*, dan, *biogas analisser* untuk mengetahui komposisi dan produksi biogas yang dihasilkan oleh digester bertingkat yang berkapasitas 220liter. Catat jumlah produksi biogas dan kandungan atau komposisi biogas yang dihasilkan pada digester tingkat 1 dan tingkat.

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1 Hasil Penelitian

Data hasil penelitian dicatat pada saat mengukur kenaikan produksi dan komposisi biogas per hari yang dihasilkan dari digester tingkat pertama dan digester tingkat keempat kapasitas 220 liter yang ditampung didalam drum penampung biogas sementara, lalu ukur kenaikannya menggunakan meteran untuk mengetahui berapa produksi biogas yang dihasilkan digester tingkat pertama dan digester tingkat keempat per harinya, setelah itu ukur komposisi biogas menggunakan alat *biogas analiser* yang berfungsi untuk mengetahui kadar  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  pada biogas. Kemudian di rata-ratakan, sajikan dalam bentuk tabel dan grafik sebagai berikut:

**Tabel 1. Pengujian kandungan dan produksi biogas digester tingkat 1 berkapasitas 220 liter dengan sistem *continuous***

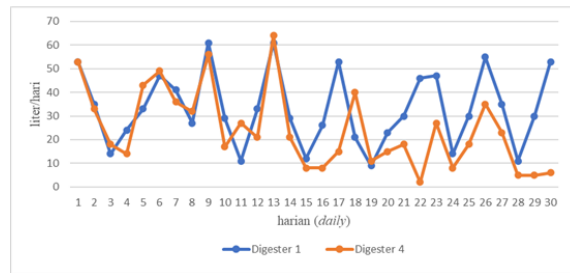
	Waktu [hari]	Produksi Biogas [l]	Komposisi Biogas	
			CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>
DIGESTER TINGKAT 1	1	53	66	34
	2	35	63	37
	3	14	67	25
	4	24	69	31
	5	33	22	24
	6	47	31	34
	7	41	58	34
	8	27	63	37
	9	61	40	40
	10	29	59	36
	11	11	60	40
	12	33	58	42
	13	61	40	39
	14	29	59	40
	15	12	55	45
	16	26	64	36
	17	53	35	28
	18	21	49	41
	19	9	55	27
	20	23	70	30
	21	30	72	28
	22	46	30	28
	23	47	61	28
	24	14	62	38
	25	30	75	25
	26	55	36	33
	27	35	59	30
	28	11	66	32
	29	30	68	32
	30	53	46	40
Total	30	993	-	-

**Tabel 2. Pengujian kandungan dan produksi biogas digester tingkat 4 berkapasitas 220 liter dengan sistem *continuous***

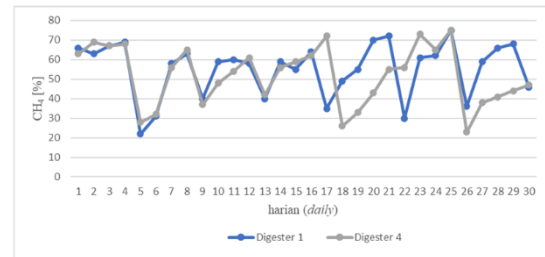
	Waktu [hari]	Produksi Biogas [l]	Komposisi Biogas	
			CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>
DIGESTER TINGKAT 4	1	53	63	37
	2	33	69	31
	3	18	67	30
	4	14	68	32
	5	43	28	29
	6	49	32	31
	7	36	56	38
	8	32	65	35
	9	56	37	35
	10	17	48	35
	11	27	54	46
	12	21	61	39
	13	64	42	34
	14	21	56	36
	15	8	59	41
	16	8	62	38
	17	15	72	28
	18	40	26	25
	19	11	33	25
	20	15	43	29
	21	18	55	28
	22	2	56	27
	23	27	73	27
	24	8	65	35
	25	18	75	25
	26	35	23	26
	27	23	38	26
	28	5	41	29
	29	5	44	24
	30	6	47	53
Total	30	728	-	-

Dari data yang didapat produksi biogas yang dihasilkan dari digester tingkat 1 (pertama) selama 30 hari sebanyak 993 liter, lalu produksi biogas yang dihasilkan dari digester tingkat 4 (keempat) selama 30 hari sebanyak 728 liter. Dari produksi biogas selama 30 hari pada digester tingkat 1 (pertama) dan

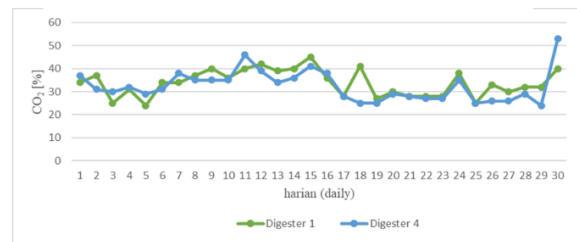
digester tingkat 4 (keempat) ini yang paling banyak memproduksi biogas adalah digester tingkat 1.



**Gambar 2. Grafik produksi biogas dalam 30 hari yang dihasilkan dari digester tingkat 1 dan 4**



**Gambar 3. Grafik Komposisi CH<sub>4</sub> dalam biogas yang dihasilkan dari digester tingkat 1 dan 4**



**Gambar 4. Grafik Komposisi CO<sub>2</sub> dalam biogas yang dihasilkan dari digester tingkat 1 dan 4**

#### 4.2 Pembahasan

Pada tabel 1 dan 2, dapat dilihat hasil produksi dan komposisi biogas pada digester tingkat 1 (pertama) selama 30 hari sebanyak 993 liter dan pada digester tingkat 4 (keempat) sebanyak 728 liter, produksi biogas tertinggi dapat dilihat pada hari ke 9 (61 liter) pada digester tingkat 1 (pertama), dan produksi biogas tertinggi pada digester tingkat 4 (keempat) terdapat pada hari ke 13 (64 liter), hal yang menyebabkan peningkatan atau penghambatan produksi biogas dan perbedaan produksi biogas pada digester tingkat 1 (pertama) dan tingkat 4 (keempat) yaitu hal ini dikarenakan oleh beberapa faktor yang mempengaruhi, diantaranya suhu/temperatur didalam atau diluar digester, nilai pH, serta adanya penambahan substrat dan fases ternak sapi (Jumadi Tangko dkk, 2018). Lalu komposisi atau kandungan

biogas tertinggi dihasilkan pada digester tingkat 1 (pertama) pada hari ke 25 sebanyak  $CH_4 = 75\%$ ,  $CO_2 = 25\%$ . Sementara itu pada digester tingkat 4 (keempat) mendapatkan kandungan biogas tertinggi pada hari ke 25 sebanyak  $CH_4 = 75\%$ ,  $CO_2 = 25\%$ , hal ini disebabkan adanya empat tahap biologis dan kimia pencernaan anaerobik yaitu *hidrolisis*, *asidogenesis*, *asetogenesis*, *metanogenesis* (Sebayuana, 2019). Pada *hidrolisis* terjalin proses dekomposisi biomasa lingkungan yang jadi glukosa simpel mengenakan enzim yang dihasilkan oleh mikroorganisme buat menciptakan biomasa yang bisa larut dalam air. Pada proses *asidogenesis*, monomer serta oligomer hasil dari proses *hidrolisis* hadapi perombakan jadi  $CO_2$ , asam lemak, dan alkohol. Pada proses *asetogenesis*, asam serta alkohol dirubah jadi asam asetat serta gas  $H_2$ . Kemudian pada proses yang terakhir ataupun *metanogenesis*, senyawa-senyawa yang dihasilkan lewat proses *asetogenesis* dirubah jadi gas metana oleh kuman *methanogenik* (Siti Mujdalipah, 2014).

Pada foto 2 bisa dilihat penciptaan biogas yang paling tinggi dihasilkan sepanjang 30 hari pada hari ke 9 sebanyak 61 liter pada digester tingkatan 1 (awal), bagi Siti Mujdalipah dkk. (2014), ini disebabkan terdapatnya pemakaian substrat yang maksimal dari mikroorganisme sehingga biogas dibuat secara optimal. Kemudian pada digester tingkatan 4 (keempat) penciptaan biogas yang paling tinggi ada pada hari ke 13 sebanyak 64 liter. Volume gas yang bertambah disebabkan bertambahnya waktu fermentasi. Terus menjadi panjang waktu fermentasi hingga terus menjadi bertambah akitivitas dari mikroorganisme buat memakai substrat sehingga perihal ini sangat pengaruhi produk yang dihasilkan biogas (Suryani, 2013). Dan juga hasil dari produksi biogas pada digester tingkat 1 dan 4 disebabkan oleh pengaruh cuaca yang setiap harinya tidak bisa diprediksi.

Pada gambar 3 ditunjukkan bahwa kandungan  $CH_4$  dari biogas yang dihasilkan dari digester tingkat 1 pada hari pertama hingga hari ke 30 lebih tinggi jika dibandingkan dengan digester tingkat 4, hal ini disebabkan oleh bakteri yang merata didalam digester dan terdapat proses pengadukan menggunakan *agitator* (Sebayuana, 2019), dan juga limbah atau fases yang dimasukkan kedalam digester tingkat 1 (pertama) yaitu limbah atau fases yang masih segar dan masih banyak mengandung atau menghasilkan bakteri *metanogen* sehingga kandungan  $CH_4$  pada digester tingkat 1 (pertama) lebih banyak dibandingkan digester tingkat 4

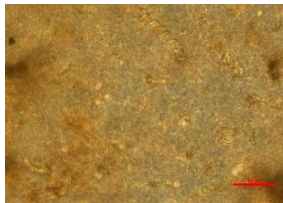
(keempat), menurut (Megawati 2015) dikarenakan produksi metana dilakukan oleh bakteri *metanogen*, 70% nya dari metana yang terbentuk melalui asam asetat, sedangkan 30% nya dihasilkan dari konversi *hidrogen* (H) dan *karbondioksida* ( $CO_2$ ). Produksi  $CH_4$  tertinggi pada digester tingkat 1 (pertama) terdapat pada hari ke 25 sebanyak 75%.  $CH_4$  tertinggi pada digester tingkat 4 (keempat) yaitu pada hari ke 25 sebanyak 75%. Lalu metana ( $CH_4$ ) diproduksi pada tahap pembentukan biogas secara *metanogenesis* (Sebayuana, 2019). Hal ini disebabkan kandungan  $CH_4$  sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu komposisi bahan baku, temperatur, dan nilai pH dan bakteri *methanogen* yang terdapat didalam digester tingkat 1 dan digester tingkat 4 (Megawati, 2015).

Pada gambar 4 ditunjukkan bahwa kandungan  $CO_2$  biogas yang dihasilkan dari digester tingkat 1 dan digester tingkat 4, dari hari pertama hingga ke sebelas digester tingkat 4 lebih tinggi dibandingkan dengan digester tingkat 1, menurut (Sebayuana, 2019) Hal ini disebabkan oleh pencampuran limbah ternak sapi dengan perbandingan 1:1 atau 2,5 liter air dan 2,5 liter kotoran sapi yang dimasukkan kedalam digester tingkat 1 (pertama) dan digester tingkat 4 (keempat), namun pada hari ke 30  $CO_2$  yang dihasilkan dari digester tingkat 4 jauh lebih tinggi dibandingkan dengan digester tingkat 1. Hal ini disebabkan *karbondioksida* ( $CO_2$ ) diproduksi selama tahap *asetogenesis* dan juga *metanogenesis* (Sebayuana, 2019), maka dari itu pada hari terakhir *karbondioksida* ( $CO_2$ ) mengalami kenaikan pada digester tingkat 4 (keempat).

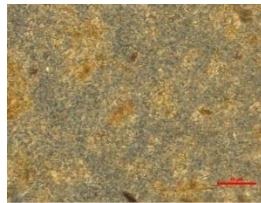
Pada minggu pertama hingga minggu keempat pengisian limbah kotoran ternak sapi pada digester bertingkat sebanyak 1:1 atau 2,5 liter air dan 2,5 liter kotoran sapi kedalam digester bertingkat menggunakan *continuous sistem*. Lalu bakteri yang terdapat didalam digester tingkat pertama sangatlah banyak dikarenakan limbah yang dimasukkan ke dalam digester masih segar atau baru dan juga suplai makanan untuk bakteri yang terdapat didalam digester tingkat pertama masih sangatlah melimpah, maka dari itu produksi biogas pada digester tingkat pertama lebih banyak dibandingkan dengan digester tingkat kedua, ketiga, dan keempat, dan juga proses yang terjadi pada digester tingkat pertama yaitu proses *hidrolisis* dimana proses penguraian limbah padat berukuran besar menjadi lebih kecil agar dapat diproses oleh bakteri *acidogen* dengan proses *asidogenesis*, dan setelah proses *hidrolisis* bakteri *acidogen* memproses limbah menjadi asam organik,



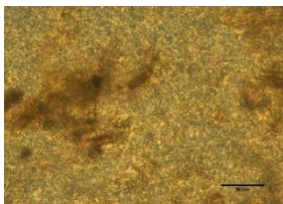
dari proses *asidogenesis* tersebut akan dilanjutkan dengan proses *asetogenesis* oleh bakteri *acetogen* yang memproses limbah asam menjadi asetat, karbondioksida, dan nitrogen. Lalu pada digester tingkat keempat pada minggu pertama, kedua, ketiga, dan keempat, bakteri yang dihasilkan didalam digester tingkat keempat mulai hilang atau tidak ada dikarenakan suplai makanan yang terdapat didalam digester tingkat keempat sudah mulai menurun, dan juga gas yang diproduksi pada digester tingkat keempat sangatlah rendah dibandingkan dengan digester tingkat pertama.



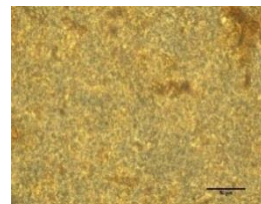
**Gambar 5. Bakteri Minggu Pertama Digester Tingkat 1 (Mikroskop Fase Contrast)**



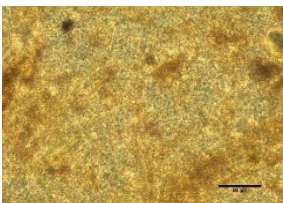
**Gambar 6. Bakteri Minggu Pertama Digester Tingkat 4 (Mikroskop Fase Contrast)**



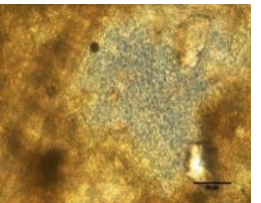
**Gambar 7. Bakteri Minggu Kedua Digester Tingkat 1 (Mikroskop Fase Contrast)**



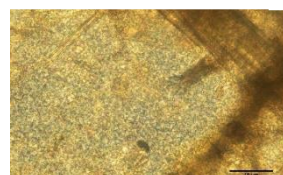
**Gambar 8. Bakteri Minggu Kedua Digester Tingkat 4 (Mikroskop Fase Contrast)**



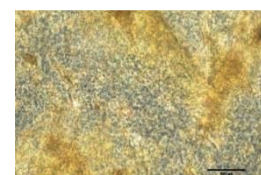
**Gambar 9. Bakteri Minggu Ketiga Digeste Tingkat 1 (Mikroskop Fase Contrast)**



**Gambar 10. Bakteri Minggu Ketiga Digester Tingkat 4 (Mikroskop Fase Contrast)**



**Gambar 11. Bakteri Minggu Keempat Digest Tingkat 1 (Mikroskop Fase Contrast)**



**Gambar 12. Bakteri Minggu Keempat Digester Tingkat 4 (Mikroskop Fase Contrast)**

## 5. Kesimpulan

Dari pengujian laju pembentukan produksi biogas dan kandungan komposisi biogas yang dihasilkan dari digester bertingkat berkapasitas 220 liter pada tingkat 1 (pertama) dan tingkat 4 (keempat) dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Digester bertingkat pada tingkat 1 (pertama) dapat menghasilkan biogas sebanyak 993 liter selama 30 hari sedangkan pada digester tingkat 4 (keempat) hanya bisa memproduksi biogas sebanyak 728 liter selama 30 hari.
2. Komposisi biogas yang dihasilkan dari digester bertingkat pada tingkat 1 (pertama) kandungan metananya ( $CH_4$ ) lebih tinggi dibandingkan dengan digester tingkat 4 (keempat), lalu kandungan dari karbondioksida ( $CO_2$ ) rata-rata lebih tinggi pada digester tingkat 4 (keempat) dari hari pertama hingga hari ke sebelas dibandingkan dengan digester tingkat 1 (pertama).

## Daftar Pustaka

- [1] Al Saedi T., dkk., 2008, *Biogas Handbook*. Denmark: University of Southern Denmark Esbjerg.
- [2] Abu-Dahrieh J. A., Orozco E., Groom D. Rooney, 2011, *Batch and continuous biogas production from grass silage liquor*. *Bioresour. Technol.* 102: 10922–10928.
- [3] Purnama, C.,(2009, *Penelitian Pembuatan Prototipe Pengolahan Limbah Menjadi Biogas*.
- [4] Sunaryo, 2014, *Rancang Bangun Reaktor Biogas untuk Pemanfaatan Limbah Kotoran Ternak Sapi di Desa Limbangan Kabupaten Banjarnegara*, Ppkm Unsiq, pp. 21–30.



I Dewa Gede Widya Pradnyana telah menyelesaikan Pendidikan S1 Teknik Mesin di Universitas Udayana dari tahun 2017 hingga 2021 dengan topik penelitian Studi Laju Pembentukan Biogas Dan Komposisi Biogas Pada Digester Bertingkat (Studi Kasus Perbandingan Digester Tingkat 1 Dan 4)

Bidang penelitian yang diminati adalah topik yang berkaitan dengan Biogas, khususnya yang berkaitan dengan Limbah Kotoran Ternak Sapi

# Studi Laju Pembentukan Biogas Dan Komposisi Biogas Pada Digester Bertingkat (Studi Kasus Perbandingan Digester Tingkat 1 Dan 2)

I Made Giatmika Putra, Tjokorda Gde Tirta Nindhia, I Wayan Bandem Adnyana  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

Kegiatan pemeliharaan ternak menghasilkan limbah yang dapat mencemari lingkungan. Limbah kotoran ternak dalam jumlah yang banyak, jika tanpa adanya pengolahan maka akan berdampak buruk bagi lingkungan karena limbah ternak mengandung gas metana yang dapat mencemari lingkungan dan merupakan salah satu penyebab efek gas rumah kaca. Limbah kotoran ternak dapat dimanfaatkan sebagai bahan energi biogas. Biogas dihasilkan menggunakan digester, digester merupakan komponen utama dalam produksi biogas. Digester merupakan tempat dimana limbah diuraikan oleh bakteri secara anaerob (tanpa udara) menjadi gas  $CH_4$  dan  $CO_2$ . Multi-stage digester merupakan reaktor berbentuk tangki yang diisi secara kontinu dan dilengkapi dengan sistem pengadukan. Pengadukan dapat dilakukan secara terus-menerus atau bisa berkala. Sistem multi-stage dapat dilakukan dalam dua tingkat atau beberapa tangki secara berseri. Metode yang digunakan pada pengujian ini yaitu dengan menguji produksi dan komposisi biogas yang dihasilkan digester tingkat 1 dan 2 dengan sistem pengisian kontinu dengan penambahan limbah kotoran ternak sapi sebanyak 5 liter dengan perbandingan 2,5 liter limbah kotoran sapi dan 2,5 liter air yang dimasukan setiap 2 hari sekali pada digester tingkat 1 kemudian limbah yang keluar dari digester tingkat 1 dimasukan pada digester tingkat 2. Hasil penelitian menunjukkan produksi biogas yang dihasilkan digester tingkat 1 lebih tinggi dibandingkan digester tingkat 2. Dimana digester tingkat 1 menghasilkan biogas sebanyak 993 liter selama 30 hari dan digester tingkat 2 menghasilkan biogas sebanyak 913 liter selama 30 hari dengan produksi tertinggi digester tingkat 1 sebanyak 61 liter / hari dan digester tingkat 2 sebanyak 65 liter / hari. Dan kandungan  $CH_4$  tertinggi sebanyak 75% pada Digester 1 dan 77% pada Digester 2.

Kata kunci: Digester Bertingkat, Limbah Ternak Sapi, Biogas

## Abstract

Livestock rearing activities produce waste that can pollute the environment. Animal manure waste in large quantities, if without processing it will have a bad impact on the environment because livestock waste contains methane gas which can pollute the environment and is one of the causes of the greenhouse gas effect. Animal manure can be used as biogas energy. Biogas is produced using a digester, the digester is the main component in biogas production. Digester is a place where waste is broken down by bacteria anaerobically (without air) into  $CH_4$  and  $CO_2$  gases. Multi-stage digester is a reactor in the form of a tank that is filled continuously and equipped with a stirring system. Stirring can be done continuously or periodically. Multi-stage systems can be carried out in two levels or multiple tanks in series. The method used in this test is to test the production and composition of biogas produced by level 1 and 2 digesters with a continuous filling system with the addition of 5 liters of cow dung waste with a ratio of 2.5 liters of cow dung waste and 2.5 liters of added water. once every 2 days in the level 1 digester then the waste that comes out of the level 1 digester is entered into the level 2 digester. The results showed that the biogas production produced by the level 1 digester was higher than the level 2 digester. Where the level 1 digester produced 993 liters of biogas for 30 days and the level 2 digester produced 913 liters of biogas for 30 days with the level 1 digester production of 61 liters / day and digester level 2 as much as 65 liters / day. And the highest  $CH_4$  content is 75% in Digester 1 and 77% in Digester 2.

Keywords: Multilevel Digester, Cattle Waste, Biogas

## 1. Pendahuluan

Pengolahan limbah ternak di Bali telah dikembangkan melalui program Sistem Pertanian Terintegrasi (Simantri), yang telah menjadi model pembangunan pertanian daerah di Provinsi Bali. Simantri berpotensi sangat besar untuk menghasilkan biogas di Bali, namun limbah ternak umumnya digunakan sebagai pupuk kompos dan hanya sedikit yang dimanfaatkan sebagai biogas padahal limbah ternak berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber energi pada saat bahan bakar energi terbatas [1].

Di Bali umumnya digester yang digunakan pada sistem pertanian terintegrasi (Simantri) menggunakan digester *fixed dome*. Jenis digester ini banyak digunakan karena cukup besar untuk menampung limbah kotoran sapi. Digester *fixed dome* mampu menampung sekitar 15 – 25 ekor kotoran sapi, namun terlepas dari itu digester jenis ini memerlukan perawatan yang sangat susah karena di dalam digester kotoran sapi dibiarkan yang menyebabkan terjadinya pengendapan sehingga terjadi pembentukan *scum*, untuk mengeluarkan *scum* dari dalam digester harus membuat lubang pada bagian

atas digester dan menutupnya kembali menggunakan *fiberglass*, proses ini tentunya sangat melelahkan karena mengeluarkan tenaga yang banyak dan membutuhkan biaya yang cukup besar [2].

Untuk memaksimalkan pengolahan limbah kotoran sapi maka reaktor biogas dibuat bertingkat yang dimana diharapkan pada tingkat pertama adanya proses hidrolisis atau proses pemecahan enzimatis dari bahan yang tidak mudah larut seperti lemak, polisakarida, protein, dan lain- lain menjadi bahan yang mudah larut. Pada tahap ini bahan yang tidak mudah larut seperti selulosa, polisakarida dan lemak diubah menjadi bahan yang larut dalam air seperti karbohidrat dan asam lemak. Pada tingkat kedua adanya proses asidogenesis dimana bakteri yang terbentuk pada proses hidrolisis difermentasikan dalam keadaan anaerob menjadi bentuk asam seperti asam asetat dan asam propionate pada nilai pH antara 6,5 – 7. Oleh karena itu, penulis melakukan penelitian yang berjudul Studi laju pembentukan biogas dan komposisi biogas pada digester bertingkat (studi kasus perbandingan digester tingkat 1 dan 2).

## 2. Dasar Teori

### 2.1. Pengertian Biogas

Biogas merupakan gas yang mudah terbakar dan dihasilkan melalui proses anaerob atau fermentasi dari bahan-bahan organik diantaranya: kotoran manusia dan hewan, limbah domestik (rumah tangga), sampah atau limbah organik yang dalam kondisi anaerobik. Biogas juga dikenal sebagai gas rawa atau lumpur dan biasa digunakan sebagai bahan bakar. Pada umumnya semua jenis bahan organik bisa diproses untuk menghasilkan biogas [3].

### 2.2. Digester

Proses menghasilkan biogas dari bahan organik, diperlukan alat yaitu Digester Biogas /Biodigester, yang bekerja dengan prinsip menciptakan suatu tempat penampungan bahan organik pada kondisi anaerob (bebas oksigen) sehingga bahan organik tersebut dapat difermentasi oleh bakteri metanogen untuk menghasilkan biogas. Biogas yang timbul kemudian dialirkan ke tempat penampungan biogas sedangkan lumpur sisa aktivitas fermentasi dikeluarkan lalu dijadikan pupuk alami yang dapat dimanfaatkan untuk usaha pertanian maupun perkebunan.

### 2.3. Fixed Dome Plant

Biodigester ini memiliki volume tetap sehingga produksi gas akan meningkatkan tekanan dalam reaktor (digester). Gas yang terbentuk akan segera dialirkan ke pengumpul gas di luar reaktor. Keunggulan dari tipe digester ini adalah tidak ada bagian yang bergerak, awet (berumur panjang), dibuat di dalam tanah sehingga terlindungi dari berbagai cuaca atau gangguan lain dan tidak membutuhkan ruangan di atas tanah. Namun, kelemahannya adalah rawan terjadi keretakan di

bagian penampungan gas, tekanan gas tidak stabil karena tidak ada katup gas [4].

## 3. Metode Penelitian

Metode penelitian yang akan digunakan adalah metode penelitian eksperimental (true experimental research)

### 3.1. Variabel Penelitian

1. Variabel bebas pada penelitian ini adalah waktu produksi biogas digester tingkat 1 dan 2 dengan lama pengamatan 30 hari dengan proses kontinyu sistem.
2. Variabel terikat pada penelitian ini adalah laju pembentukan biogas dan komposisi biogas pada digester tingkat 1 dan 2 dengan proses kontinyu sistem.

### 3.2. Alat dan Bahan Penelitian

#### Alat

Mesin Travo Las *inventer Heavy Duty H&L* 160 HD, bor duduk (mesin gurdi), gerinda Bosch GWS 060 4 inch, biogas analiser, biogas volume meter, pompa biogas, stick blender.

#### Bahan

Limbah kotoran sapi murni yang diperoleh dari simantri 369 Br. Sumampun, Desa Kemenuh,, Kecamatan Sukawati, Kabupaten Gianyar, Bali

### 3.3. Tahapan Pembuatan Digester Biogas

#### *Portable Bertingkat Bertingkat Kapasitas 220 L*

1. Drum Oli berdiameter 56 cm dan tinggi 89 cm, dengan ketebalan drum 2 mm, disiapkan.
2. Lubang dibuat berhadapan pada bagian samping bawah kanan dan kiri dengan jarak 10 cm dari bagian bawah drum dan berdiameter 3 inch untuk masing-masing saluran masuk (*inlet*) dan keluar (*outlet*) kotoran sapi,
3. Lubang persegi panjang dibuat dengan ukuran panjang 30 cm dan lebar 20 cm sebagai tempat dudukan agitator.
4. Dudukan agitator dibuat menggunakan besi siku 5x5 dengan panjang 40 cm dan lebar 30.
5. Tutup yang juga menjadi pegangan as pengaduk dibuat menggunakan plat dengan tebal 2 mm berukuran 40 x 30.
6. Pipa besi galvanis berdiameter 1 inch dipotong dengan panjang 73,5 cm sebagai wadah as pengaduk.
7. Besi long drat M20 dengan panjang 1 m dibuat sebagai as pengaduk.
8. Nilon di bubut dengan ukuran 35 mm dan panjang 40 mm dengan lubang tengah 20 mm
9. Besi cor 10 mm dibentuk menjadi lingkaran dengan diameter 35 cm.
10. Besi cor ukuran 10 mm dibentuk seperti garpu digunakan sebagai pegangan pisau pengaduk
11. Plat besi dengan tebal 2 mm dibentuk setengah lingkaran sebagai pisau pengaduk.
12. Dibuat Pipa galvanis berdiameter 3 inch tebal 1 mm dilengkapi corong pada saluran inlet menggunakan plat besi tebal 2 mm dengan

bentuk trapezium berukuran 30 cm x 20 cm, dan tutup pipa galvanis berukuran 15 x 15 menggunakan plat besi ukuran 2 mm.

13. Setelah semua bahan sudah lengkap perakitan digester bertingkat atau multistage siap dilakukan.

### 3.4. Metode Pengambilan Data

Limbah sapi diambil dan dimasukkan ke dalam ember untuk dicampur air dengan perbandingan 1 : 1 kemudian ratakan menggunakan *stick blender*. Limbah yang sudah tercampur rata dengan air dimasukkan ke dalam digester hingga mencapai *outlet* digester dan diamkan selama 30 hari. Setelah itu, dilanjutkan dengan pengisian secara kontinyu, limbah kotoran sapi dimasukkan ke dalam gelas takar sebanyak 2,5 liter dan air sebanyak 2,5 liter kemudian masukan ke dalam ember, setelah diaduk menggunakan *stick blender* sampai tercampur rata. Setelah tercampur dengan rata masukan limbah kotoran sapi yang sudah tercampur dengan air ke dalam digester biogas bertingkat, dan siapkan drum penampung biogas, pasang pada *output* saluran biogas pada digester untuk menampung biogas yang dihasilkan oleh digester biogas bertingkat. Lalu *agitator* diaduk setiap hari, pagi, siang, dan sore masing – masing selama 5 menit. Kemudian ukur kenaikan produksi biogas pada drum penampung secara *daily* (harian) lalu cek kandungan biogas menggunakan biogas analiser, agar dapat mengetahui berapa kandungan CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S pada biogas di bag penampung. Setelah drum penampung biogas terisi dengan penuh, sambungkan drum penampung biogas ke pompa biogas dan volume meter untuk mengukur produksi biogas secara kumulatif, di volume meter akan terlihat berapa banyak biogas yang dihasilkan oleh digester biogas portabel bertingkat. Kemudian cek kandungan menggunakan biogas analiser.

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1. Data Pengamatan

Proses pembedakan biogas dan komposisi biogas dilakukan dengan melakukan pengisian pada semua tingkat digester baik digester tingkat 1 dan tingkat 2 atau digester tingkat 3 dan 4 dengan pengisian limbah secara batch dengan perbandingan 1:1 yang didiamkan hingga 30 hari hingga menghasilkan biogas. Kemudian setelah 30 hari dilanjutkan dengan pengisian limbah secara kontinyu sebanyak 5 liter dengan perbandingan 2,5 liter limbah kotoran sapi dan 2,5 liter air yang dimasukkan pada digester tingkat 1 setiap 2 hari sekali, kemudian limbah yang keluar dari digester tingkat 1 akan dimasukkan pada digester tingkat 2 dan seterusnya. Karena telah melakukan pengisian secara batch sehingga pada proses kontinyu hari pertama digester telah menghasilkan biogas.

Pengujian produksi biogas (liter) dilakukan dengan cara menampung biogas yang dihasilkan dari digester biogas bertingkat (tingkat 1 dan 2)

menggunakan drum penampung. Drum tersebut dihubungkan pada saluran keluar biogas digester pada masing – masing tingkat digester. Setelah biogas terbentuk, kenaikan drum penampung akan diukur setiap hari menggunakan meteran, ketinggian drum penampung akan dikali luas volume drum penampung untuk mendapat hasil produksi biogas per hari. Selanjutnya akan dilakukan proses pengujian komposisi biogas dengan cara, drum penampung yang sudah terisi biogas disambungkan ke alat biogas *analiser* untuk mengetahui kadar CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, dan H<sub>2</sub>S dalam satu hari. Hasil pengukuran ditampilkan pada Tabel 1 dan 2.

**Tabel 1. Pengujian Digester biogas bertingkat pada digester tingkat 1**

Digester Tingkat 1			
Waktu [hari]	Produksi Biogas [Liter]	Komposisi Biogas	
		CH <sub>4</sub> [%]	CO <sub>2</sub> [%]
1	53	66	34
2	35	63	37
3	14	67	25
4	24	69	31
5	33	22	24
6	47	31	34
7	41	58	34
8	27	63	37
9	61	40	40
10	29	59	36
11	11	60	40
12	33	58	42
13	61	40	39
14	29	59	40
15	12	55	45
16	26	64	36
17	53	35	28
18	21	49	41
19	9	55	27
20	23	70	30
21	30	72	28
22	46	30	28
23	47	61	28
24	14	62	38
25	30	75	25
26	55	36	33
27	35	59	30
28	11	66	32
29	30	68	32
30	53	46	40
30	993	-	-

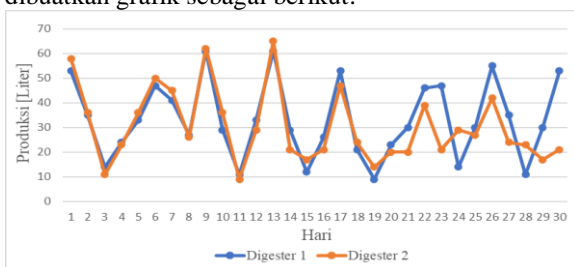
Data hasil pengamatan selama 30 hari pada digester tingkat 1 dan digester tingkat 2 dengan pengisian limbah ternak sapi sebanyak 5 liter (2,5 liter limbah ternak sapi dan 2,5 liter air) secara kontinyu setiap 2 hari sekali. Pengamatan

menunjukkan produksi biogas selama 30 hari pada digester tingkat 1 dan digester tingkat 2 tidak teratur.

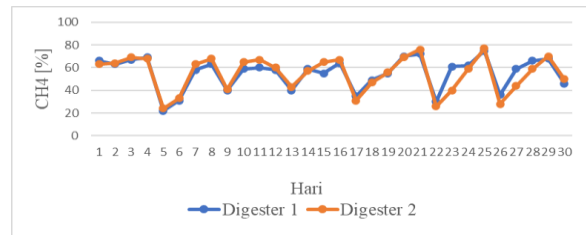
Tabel 2. Pengujian Digester biogas bertingkat pada digester tingkat 2

Digester Tingkat 2			
Waktu [hari]	Produksi Biogas [Liter]	Komposisi Biogas	
		CH <sub>4</sub> [%]	CO <sub>2</sub> [%]
1	58	63	37
2	36	64	36
3	11	69	25
4	23	68	32
5	36	24	29
6	50	33	24
7	45	63	35
8	26	68	32
9	62	41	28
10	36	65	32
11	9	67	33
12	29	60	40
13	65	43	31
14	21	57	36
15	17	65	35
16	21	67	33
17	47	31	26
18	24	47	25
19	14	56	23
20	20	69	25
21	20	76	24
22	39	26	28
23	21	40	25
24	29	59	36
25	27	77	23
26	42	28	29
27	24	44	27
28	23	59	30
29	17	70	30
30	21	50	50
30	913	-	-

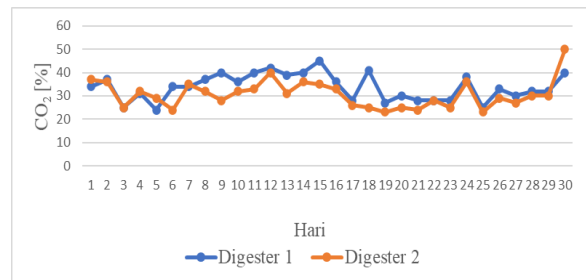
Dari data pada Tabel 1 dan Tabel 2 dapat dibuatkan grafik sebagai berikut:



Gambar 1. Grafik produksi biogas digester tingkat 1 dan 2



Gambar 2. Grafik komposisi CH<sub>4</sub> yang dihasilkan digester tingkat 1 dan 2



Gambar 3. Grafik komposisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan digester tingkat 1 dan 2

Dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa produksi biogas yang dihasilkan selama 30 hari digester biogas tingkat 1 dan 2 rata – rata sama hingga hari ke 19 dan terjadi penurunan produksi biogas pada digester tingkat 2 dari hari ke 20 hingga hari ke 30. Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa komposisi CH<sub>4</sub> dari digester tingkat 1 lebih rendah dibandingkan digester tingkat 2. Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa komposisi CO<sub>2</sub> dari digester tingkat 1 rata – rata lebih tinggi dibandingkan digester tingkat 2.

#### 4.2 Pembahasan

Dari Tabel 1. terlihat proses produksi biogas yang dihasilkan digester biogas tingkat 1 lebih tinggi dibandingkan digester tingkat 2. Jika dilihat dari total produksi biogas selama 30 hari dari digester biogas tingkat 1 menghasilkan 993 liter biogas dengan produksi tertinggi terdapat pada hari ke 9 dan ke 13 dimana sama - sama menghasilkan 61 liter biogas dengan kandungan biogasnya pada hari ke 9 CH<sub>4</sub> = 40% dan CO<sub>2</sub> = 40%, dan pada hari ke 13 CH<sub>4</sub> = 40% dan CO<sub>2</sub> = 39%. Sedangkan digester biogas tingkat 2 menghasilkan biogas selama 30 hari sebanyak 913 liter biogas dengan produksi tertinggi terdapat pada hari ke 13 menghasilkan 65 liter biogas dan kandungan biogasnya CH<sub>4</sub> = 43%, dan CO<sub>2</sub> = 31%, Produksi biogas pada digester tingkat 1 dan tingkat 2 menghasilkan biogas yang rata – rata sama dari hari pertama hingga hari ke 19 dan mengalami penurunan produksi pada digester tingkat 2 dari hari ke 20 hingga hari ke 30. produksi biogas digester tingkat 1 dan tingkat 2 bisa sama karena pada tahap sebelumnya digester tingkat 1 dan digester tingkat 2 sama – sama di isi limbah secara batch sistem selama 30 hari, yang kemudian dilanjutkan dengan pengisian limbah sebanyak 5 liter setiap 2 hari pada digester tingkat 1. Kemudian produksi biogas pada digester

tingkat 2 menurun dari hari 20, hal ini disebabkan digester tingkat 2 menerima limbah yang dikeluarkan dari digester tingkat 1, dimana limbah tersebut semakin lama dipermmentasi maka limbah memiliki asupan makanan yang semakin sedikit untuk melakukan proses pembentukan biogas.

Pada Gambar 1 ditunjukkan bahwa digester tingkat 1 dan 2 menghasilkan biogas yang tidak stabil, dimana produksi biogas terbentuk secara fluktuatif. Hal ini disebabkan oleh pengisian limbah pada digester tingkat 1 dilakukan setiap 2 hari sekali, kemudian limbah yang keluar dari digester tingkat 1 dimasukkan ke dalam digester tingkat 2, sehingga proses metanogenesis dan proses hidrolisis terjadi secara berulang – ulang.

Pada Gambar 2 ditunjukkan, dengan penambahan limbah baru sebanyak 5 liter setiap 2 hari pada digester tingkat 1 selama 30 hari, kandungan CH<sub>4</sub> yang didapat dari hari pertama sampai hari ke empat grafik menunjukkan kandungan CH<sub>4</sub> masih tinggi, namun pada hari ke lima CH<sub>4</sub> yang dihasilkan sangat rendah. Setelah hari ke 6 sampai ke 8 kandungan CH<sub>4</sub> naik kembali dan hari ke 9 kembali turun.

Naik turunnya kandungan CH<sub>4</sub> yang dihasilkan, diakibatkan dari limbah baru yang dimasukkan pada digester mempengaruhi proses pembentukan biogas, dimana saat kandungan CH<sub>4</sub> rendah yang cenderung terjadi pada digester tingkat 1 proses hidrolisis, asidogenesis dan acetogenesis lebih dominan dari proses metanogenesis, sedangkan ketika CH<sub>4</sub> memiliki kandungan yang tinggi proses metanogenesis terjadi lebih dominan dari proses hidrolisis, asidogenesis, dan asetogenesis.

Pada gambar 4.3 ditunjukkan bahwa kandungan CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari digester tingkat 1 rata – rata lebih tinggi dibandingkan digester tingkat 2. Hal ini disebabkan limbah yang dimasukkan pada digester tingkat 1 masih baru sedangkan pada digester tingkat 2 limbah yang dimasukkan merupakan limbah yang keluar dari tingkat 1. Yang menyebabkan proses hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis pada digester tingkat 1 terjadi lebih dominan dibandingkan digester tingkat 2. Dimana pada digester tingkat 2 proses metanogenesis berlangsung lebih dominan dibandingkan proses hidrolisis, asidogenesis dan asetogenesis.

Penambahan limbah kotoran sapi secara kontinyu pada digester bertingkat mempengaruhi laju pembentukan biogas dapat dilihat pada gambar 4.2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan penambahan limbah kotoran sapi sebanyak 5 liter setiap 2 hari menyebabkan produksi biogas menjadi tidak setabil dimana produksi biogas mengalami kenaikan dan penurunan secara tidak konstan. Proses pembentukan biogas dilakukan secara fermentasi yaitu proses terbentuknya gas metana dalam kondisi anaerob dengan bantuan bakteri anaerob di dalam suatu digester sehingga akan dihasilkan gas metana (CH<sub>4</sub>) dan gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yang volumenya lebih besar dari gas hidrogen (H<sub>2</sub>), gas

nitrogen (N<sub>2</sub>) dan gas hydrogen sulfida (H<sub>2</sub>S). Proses fermentasi memerlukan waktu 7 sampai 10 hari untuk menghasilkan biogas dengan suhu optimum 35°C dan pH optimum pada range 6,4 – 7,9. Bakteri pembentuk biogas yang digunakan yaitu bakteri anaerob seperti *Methanobacterium*, *Methanobacillus*, *Methanococcus* dan *Methanosarcina*. Biogas terbentuk melalui empat proses yaitu hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis dan metanogenesis [5].

### Hidrolisis

Proses hidrolisis merupakan proses memecah biomasa yang terdiri dari polimer organik seperti karbohidrat yang terdiri dari selulosa, hemiselulosa dan pati dipecah oleh hidrolase menghasilkan gula sederhana. Lemak dipecah oleh lipase menjadi asam lemak dan gliserin. Protein dipecah menjadi asam amino oleh protease. Asetat dan hidrogen juga diproduksi dalam proses hidrolisis sehingga dapat digunakan secara langsung oleh [6].

### Asidogenesis

Pada langkah kedua, tahap asidogenesis menggunakan produk hidrolisis dikonversi membentuk senyawa seperti asam organik, termasuk Volatile Fatty Acid VFA. Pada proses asidogenesis, VFA merupakan produk utama yang ingin dihasilkan. Komposisi dari VFA mempengaruhi keberlangsungan proses digestasi anaerobik. Gula sederhana, asam amino dan asam lemak yang terdegradasi menjadi asetat, karbon dioksida dan hidrogen serta menjadi asam lemak volatile VFA dan alcohol [6].

### Asetogenesis

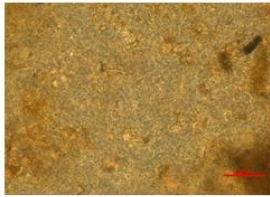
Pada proses asetogenesis molekul sederhana yang diproses pada tahap asidogenesis dicerna oleh asetogen untuk menghasilkan asetat, hidrogen dan karbon dioksida. Hasil metabolisme dari bakteri asetogenesis bergantung terhadap tekanan hidrogen di dalam substrat. Pada saat tekanan hidrogen rendah, maka hasil metabolisme dari bakteri asetogenesis terdiri dari H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> dan asetat. Jika tekanan hidrogen tinggi, maka hasil metabolisme dari bakteri asetogenesis terdiri dari asam butirat, asam propionat, asam valerat dan etanol. Namun, dari hasil metabolisme tersebut, bakteri metanogenesis hanya menggunakan asetat, CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub> untuk produksi metana [7].

### Metanogenesis

Metanogenesis adalah tahap ke empat dari proses pencernaan anaerobik. Dimana metanogen mengkarbolasi produk dari tahap sebelumnya dan mengubahnya menjadi karbon dioksida dan metana. Pada proses metanogenesis asetat menghasilkan 70% metana dan 30% dihasilkan oleh [6].

Selain melakukan pengukuran produksi biogas dan komposisi biogas, untuk membantu penelitian kami melakukan pengamatan pada bakteri yang terapat pada limbah kotoran sapi yang telah dimasukkan pada digester menggunakan mikroskop dengan pembesaran 400x.

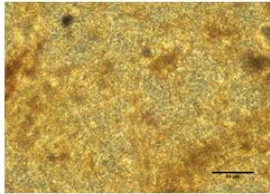
### Bakteri Digester 1



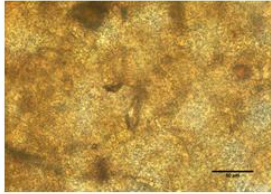
Gambar 4. Bakteri Minggu 1



Gambar 5. Bakteri Minggu 2

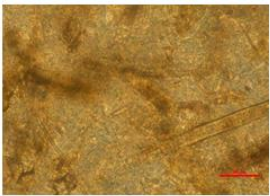


Gambar 6. Bakteri Minggu 3

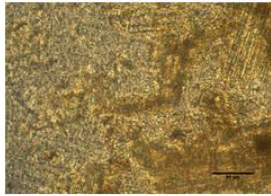


Gambar 7. Bakteri Minggu 4

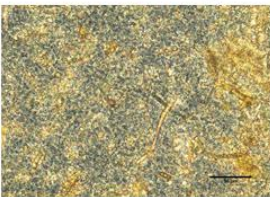
### Bakteri Digester 2



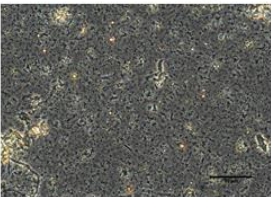
Gambar 8. Bakteri Minggu 1



Gambar 9. Bakteri Minggu 2



Gambar 10. Bakteri Minggu 3



Gambar 11. Bakteri Minggu 4

Pada gambar pengamatan bakteri ditunjukkan bahwa bakteri yang terdapat pada digester 1 minggu pertama cenderung kurang aktif dibandingkan dengan bakteri digester 2 minggu pertama, hal ini juga terlihat hingga minggu ke tiga di mana pada minggu ke tiga terdapat bakteri berukuran panjang dan bergerak lebih cepat pada digester tingkat 2, namun pada minggu ke empat bakteri yang terdapat pada digester tingkat 2 cenderung kurang aktif dibandingkan digester tingkat 1 yang bakterinya masih aktif.

### 5. Kesimpulan

Dari pengujian produksi dan komposisi biogas yang dihasilkan dari digester bertingkat (digester tingkat 1 dan tingkat 2) dapat disimpulkan bahwa:

1. Dengan digester bertingkat limbah yang keluar dari digester tingkat 1 masih dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan biogas pada digester tingkat 2. Digester tingkat 1 dapat menghasilkan biogas sebanyak 993 liter / 30 hari sedangkan digester tingkat 2 menghasilkan biogas sebanyak 913 liter / 30 hari.

2. Komposisi biogas yang dihasilkan dari digester tingkat 1 untuk kandungan  $\text{CH}_4$  lebih tinggi dibandingkan digester tingkat 2, namun kandungan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) pada digester tingkat 1 lebih tinggi dibandingkan dengan digester tingkat 2.

### Daftar Pustaka

- [1] Anugrah, dkk., 2014, *Sistem Pertanian Terintegrasi – Simantri: Konsep, Pelaksanaan, dan Perannya dalam Pembangunan Pertanian di Provinsi Bali*, Forum penelitian Agro Ekonomi.
- [2] Sebayuana, S., Nindhia, T. G. T., & Surata, I. W, 2019, *Rancang Bangun Digester Biogas Portabel Berbahan Stainless Steel Diengkapi Agitator*, Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika, Vol. 8, No. 1, pp. 464–469.
- [3] Sunaryo, 2014, *Rancang Bangun Reaktor Biogas untuk Pemanfaatan Limbah Kotoran Ternak Sapi di Desa Iimbangan Kabupaten Banjarnegara.*,Jurnal PPKM UNSIQ, Vol. 1 No. 1, hal. 21–30.
- [4] Abdul, K., 2020, *Mengenal Tipe-Tipe Reaktor Biogas. Artikel Ilmiah.*, Pusat Teknologi Sumber Daya Energi Dan Industri Kimia.
- [5] Agustin, 2011, *Biogas Sebagai Alternatif Energi Biomassa Selasa*, Universitas Diponegoro.
- [6] Atmika, dkk., 2019, *The Effect Of Loading Rate To Biogas Production Rate Of The 500 Liter Anaerobic Digester Operated With Continous System*, Pada E3S Web of Conferences, EDP Sciences.
- [7] Fusvita, 2015, *Pengaruh Variasi Konsentrasi Konsorsium Bakteri Hidrolitik Dan Waktu Fermentasi Terhadap Produksi Biogas Dari Campuran Bahan Baku Komposisi Dengan Kotoran Sapi*, Tesis, Universitas Airlangga.



I Made Giatmika Putra telah menyelesaikan Pendidikan S1 Teknik Mesin di Universitas Udayana dari tahun 2017 hingga 2021.

Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan Biogas, khususnya yang berkaitan dengan Limbah Kotoran Sapi..

# Studi Eksperimental Karakteristik *Capillary Rise* Material Karbon Aktif *Bamboo Betung (Dendrocalamus Asper)* Sebagai Material Pad Sistem *Direct Evaporative Cooling*

Rony Standi Lumban Gaol, Hendra Wijaksana dan Ketut Astawa  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

Kenaikan temperatur global termasuk Indonesia yang terjadi pada akhir abad 21, mengakibatkan peningkatan kebutuhan energi listrik untuk pemakaian sistem pendingin Air Conditioner (AC) yang berbasis kompresor. Refrigeran dalam skala besar dilepas di udara akan menyebabkan pencemaran berupa pemanasan global, serta dapat membahayakan kelestarian pada lingkungan sekitar. Oleh karena itu, diperlukannya sistem pendinginan yang lebih hemat energi dan ramah lingkungan. *Evaporative Air Cooler* dengan menggunakan sistem *direct evaporative cooling* dapat menjadi salah satu pilihan, yang dimana efek pendinginan yang didapat merupakan hasil dari material pad basah yang menguap. Bahan dasar material pad yang digunakan merupakan bambu betung lokal yang berasal dari Bali. Penelitian ini bertujuan mengetahui besarnya nilai *capillary rise* pada setiap spesimen uji yang berbeda. Dengan menggunakan temperatur karbonisasi 500°C, kemudian diaktivasi dengan temperatur 600°C serta variasi *holding time* yaitu 0 (tanpa *holding time*), 30 menit, 60 menit. Hasil dari seluruh pengujian ini menunjukkan bahwa spesimen karbonisasi 500°C dengan aktivasi 600°C variasi 30 menit *holding time* atau ACRB 500 HT 30 memiliki nilai *capillary rise* tertinggi yakni  $42,79 \times 10^{-2}$  m dan menjadikan spesimen ini lebih berpotensi dipakai sebagai bahan material pad pada sistem *direct evaporative cooling*.

Kata kunci: *Direct evaporative cooling*, bambu betung, karbonisasi, aktivasi, *capillary rise*.

## Abstract

The increase in global temperature, including Indonesia, which occurred at the end of the 21st century, resulted in an increase in the need for electrical energy for the use of Air Conditioner compressor-based (AC) systems. In addition to the high demand for electrical energy, the use of refrigerant in the air conditioning system can endanger environmental sustainability, where large amounts of refrigerant released into the surrounding air can cause unfavorable environmental pollution in the form of global warming. Therefore, a cooling system that is more energy efficient and environmentally friendly is needed. *Evaporative Air Cooler* using a *direct evaporative cooling* system can be an option, where the cooling effect obtained is the result of evaporation that occurs in the pad material that has been wetted by water. The basic material for the pad material used is local bamboo betung from Bali. This study aims to determine the value of *capillary rise* in each different test specimen. By using a carbonization temperature of 500°C, then activated with a temperature of 600°C and *holding time* variations, namely 0 (without *holding time*), 30 minutes, 60 minutes. The results of all these tests indicate that the carbonization specimen at 500°C with an activation of 600°C with a variation of 30 minutes *holding time* or ACRB 500 HT 30 has the highest *capillary rise* value of  $42.79 \times 10^{-2}$  m and makes this specimen more potential to be used as raw material. pad material in *direct evaporative cooling* system.

Keywords: *Direct evaporative cooling*, bamboo betung, carbonization, activation, *capillary rise*.

## 1. Pendahuluan

Pemanasan global (global warming) adalah fenomena kenaikan temperatur global dikarenakan terjadinya efek rumah kaca (greenhouse effect) yang disebabkan oleh kenaikan jumlah emisi gas-gas seperti karbondioksida sehingga energy matahari terperangkap dalam atmosfer bumi dari tahun ke tahun.

Sistem pendingin *Air Conditioning* (AC) mampu mengkondisikan suhu dalam ruangan lebih maksimal dan juga menjaga kualitas udara dengan stabil karena juga menggunakan filtrasi. Energi listrik dengan jumlah besar diperlukan untuk pengoperasiannya, dan kurang lebih 60% energi listrik pada gedung-gedung tinggi digunakan untuk pengoperasian sistem AC tersebut [1]. Refrigeran yang digunakan pada sistem ini akan mengancam kelestarian lingkungan, dimana dalam skala besar refrigeran yang dilepas ke udara sekitar, dapat memberikan dampak buruk bagi lingkungan yang berupa pemanasan global.

Sistem pendingin *evaporative* menjadi salah satu pilihan baik untuk menggantikan penggunaan sistem AC karena efek buruknya dalam kebutuhan energi listrik yang besar serta efek negatif untuk lingkungan sekitar. *Evaporative cooling* adalah sistem pengaturan udara untuk mendinginkan dan menambahkan kandungan kadar air atau kelembaban pada udara lingkungan dengan menggunakan media air [2]. Temperatur udara panas menjadi lebih dingin dibanding sebelum terjadi proses penguapan, sistem pendingin ini hanya membutuhkan air dan udara sebagai media utama sistem pendinginannya, dan hanya sedikit menggunakan energi listrik untuk mechanical fan dan pompa air.

Proses *direct evaporative cooling* adalah proses pendinginan dimana udara sekitar di tarik oleh fan yang akan masuk melewati media pad yang basah. Didalam media pad basah terjadi semburan air melalui sprayer yang menyebabkan terjadi kontak langsung.



antar air dikabutkan dan udara, maka terjadi penguapan dan pendinginan [3].

Komponen yang utama dari sistem direct evaporative cooling adalah mechanical fan, cooling pad dan pompa air, dimana komponen yang terpenting dalam sistem direct evaporative cooling adalah cooling pad [4]. Dalam sistem tersebut membutuhkan material pad berpori lebih diutamakan karena mempunyai daya resap dan daya penyimpanan air yang tinggi agar memastikan terjadinya proses penguapan di muka material pad. Dikarenakan kedua daya tersebut semakin tinggi dari material cooling pad, maka zona cooling pad akan semakin besar, dan akan mempengaruhi banyaknya panas sensibel udara masuk yang dibutuhkan untuk menguapkan air, dan suhu udara hasil menjadi semakin rendah (lebih dingin) [5].

Untuk memenuhi kebutuhan air pada material pad dengan meningkatkan daya kapiler (capillary force) material tersebut, maka diperlukan karakteristik capillary pumping amount yang tinggi, sehingga daya kapiler material juga meningkat dan keperluan air untuk proses penguapan dapat maksimal. Cara meningkatkan capillary pumping amount pada material pad sistem ini dapat melakukan karbonisasi untuk meningkatkan struktur pori material. Material arang atau charcoal dengan perubahan ukuran pori, luas permukaan pori dan lainnya akan berubah dikarenakan proses tersebut [6]. Proses ini juga akan membentuk material yang struktur porinya kecil tetapi tetap terhitung lebih besar dari ukuran pori nano.

Berdasarkan pemaparan latar belakang dan sesuai judul penelitian tersebut diatas, maka perumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana karakteristik capillary rise material karbon bambu betung sebagai material pad sistem direct evaporative cooling.

Beberapa batasan ditetapkan kedalam penelitian ini meliputi: Material uji digunakan merupakan bambu betung lokal bali; Temperatur saat proses karbonisasi 500°C dan temperatur aktivasi 600°C dengan variasi *holding time* 0, 30, 60 menit.

## 2. Dasar Teori

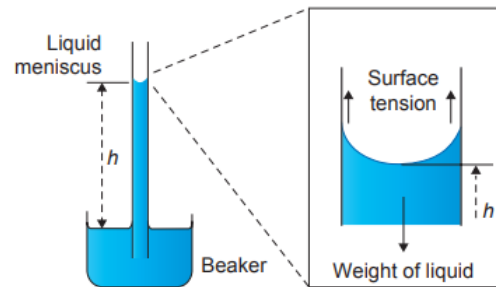
### 2.1. Spesimen Uji Karbon Aktif

Spesimen Uji Karbon Aktif melalui proses karbonisasi dan proses aktivasi. Sebelum dari proses karbonisasi terdapat proses pengurangan kadar air pada bambu dengan cara spesimen masuk ke dalam oven atau dapur listrik dengan suhu 105°C selama 6 jam selanjutnya tahap proses karbonisasi. Proses karbonisasi dilakukan untuk menambah kandungan karbon serta membentuk porositas awal pada material, Agar menaikkan daya resap arang, maka produk tersebut diproses menjadi karbon aktif dengan proses aktivasi. Proses tersebut dilakukan untuk membantu meningkatkan struktur porinya.

### 2.2. Capillary Rise

Capillary Rise dapat didefinisikan sebagai tingkat kenaikan (ketinggian) suatu cairan pada

media berpori akibat adanya gaya keatas (gaya kapiler) yang ditimbulkan oleh gaya tarik menarik antara molekul-molekul cairan terhadap permukaan padat material, dalam hal ini gaya adhesi antara cairan dan permukaan padat lebih besar dari gaya kohesi antara molekul-molekul cairan [7].



**Gambar 1. Skematik capillary rise pada sistem kapiler vertikal tunggal**

Capillary pressure merupakan perbedaan antara tekanan pada fase tidak terbasahi dan tekanan pada fase terbasahi yang dapat dituliskan sebagai persamaan berikut:

$$P_c = \frac{2\sigma \cos \gamma}{R} \quad (1)$$

Bila jari-jari pori (capillary),  $R$  semakin kecil, maka perbedaan tekanan tersebut akan meningkat, sehingga dapat dikatakan bahwa daya kapiler (capillary force) akan meningkat dengan semakin kecilnya jari-jari pori material (material capillary). Dalam hal sudut kontak  $\gamma < 90^\circ$ , dimana  $\cos \gamma$  adalah positif maka dinyatakan cairan menyebar (memasuki) pori-pori material dan sebaliknya jika sudut kontak  $\gamma > 90^\circ$ , maka  $\cos \gamma$  adalah negatif dan hal ini akan menyebabkan terjadinya capillary depression dimana meniscus akan lebih rendah dari level cairan luar. Jika  $\gamma = 90^\circ$ , kemudian  $\cos \gamma = 0$ , hal ini berarti tidak akan terjadi capillary flow maupun capillary depression. Untuk sistem kapilaritas vertikal, peningkatan ketinggian (capillary rise) dibatasi oleh tekanan hidrostatik, yang dapat dirumuskan sebagai persamaan berikut [8]:

$$P_h = \rho g h \quad (2)$$

dimana  $\rho$  adalah kerapatan massa cairan,  $h$  adalah kenaikan ketinggian (*capillary rise*) dan  $g$  adalah percepatan gravitasi. Jika proses berada dalam keadaan kesetimbangan (equilibrium), maka capillary pressure akan setimbang dengan tekanan hidrostatik.

Berdasarkan hal tersebut, akan dihasilkan kesetimbangan ketinggian yang disebut juga sebagai Jurin's height (Barnes and Gentle, 2005), maka besarnya capillary rise dapat dirumuskan sebagai persamaan berikut:

$$h = \frac{2\sigma \cos \gamma}{\rho g R} \quad (3)$$

Persamaan diatas menunjukkan bahwa ketinggian yang dapat dicapai oleh cairan dalam

media berpori, tergantung pada tegangan permukaan yang terjadi pada permukaan material dan ukuran jari pori material.

### 3. Metode Penelitian

#### 3.1 Pembuatan Spesimen Uji Karbon Aktif

Pembuatan spesimen uji karbon aktif menggunakan peralatan berupa reaktor karbonisasi untuk digunakan pada saat proses karbonisasi dan proses aktivasi.



Gambar 2. Peralatan proses karbonisasi

Proses karbonisasi 500°C : (a) 4 spesimen uji diletakkan pada reaktor untuk dikarbonisasi 500°C; (b) reaktor karbonisasi akan dialirkan nitrogen agar menjadikan kondisi tanpa oksigen (inert atmosfer), selanjutnya kontrol suhu karbonisasi diatur kenaikannya dengan laju pemanasan 8.5°C/menit dan diatur hingga mencapai 500°C; (c) setelah mencapai temperatur 500°C furnace dimatikan dan material didinginkan dalam temperatur furnace selama 6 jam, kemudian diambil salah satunya sebagai material karbon yang dinamakan CRB 500. Selanjutnya untuk sisa 3 material CRB 500 masing-masing diaktivasi pada temperature aktivasi 600°C tanpa holding time, holding time 30 menit dan holding time 60 menit secara berurutan.

#### 3.2 Pengujian Scanning Electron Microscope (SEM)

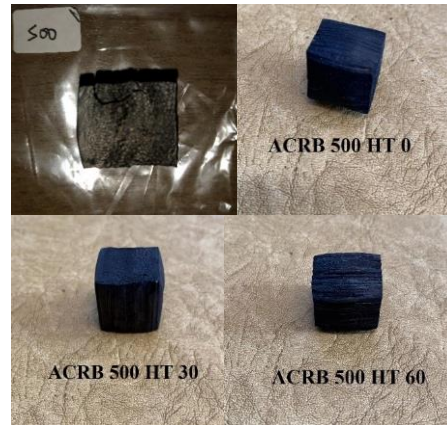
Pengujian SEM (Scanning Electron Microscope) dimaksudkan untuk mendapatkan karakteristik struktur pori material karbon CRB 500, material karbon aktif ACRB 500 HT0, ACRB 500 HT30, dan ACRB 500 HT60 yang meliputi ukuran pori, distribusi pori dan porositas sampel. Untuk penelitian ini, data yang diambil pada pengujian SEM berupa besarnya ukuran jari-jari pori material spesimen uji yang bertujuan untuk mendapatkan besarnya nilai *capillary rise* sesuai rumus yang sudah ditentukan.

### 4. Hasil dan Pembahasan

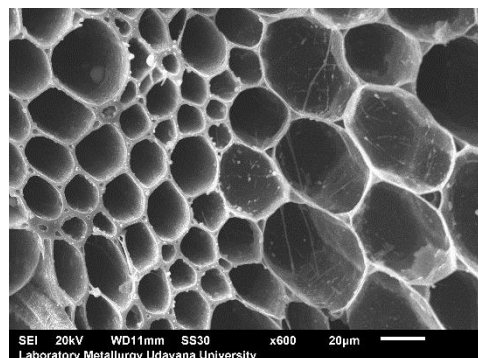
#### 4.1 Karakteristik Struktur Pori

Gambar 3. merupakan gambar hasil bambu betung setelah melalui proses karbonisasi dengan temperatur 500°C dan diaktivasi suhu temperatur

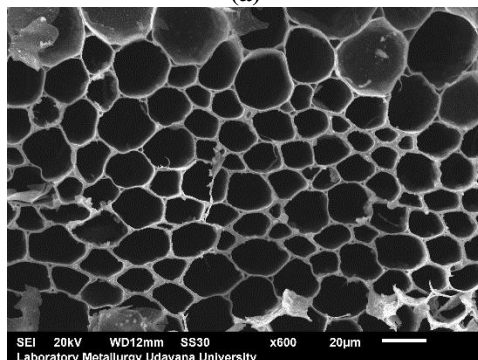
600°C dengan variasi *holding time* yang berbeda. *Scanning electron microscope* (SEM) menentukan dan mengambil gambar struktur pori pada masing-masing spesimen dengan resolusi 20 µm, gambar struktur pori tersebut akan dianalisis menggunakan aplikasi Image J.



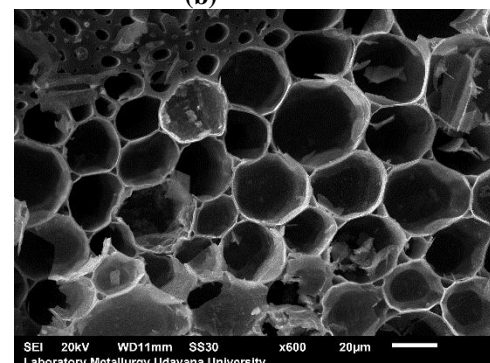
Gambar 3. Spesimen uji karbon aktif setelah proses karbonisasi dan aktivasi



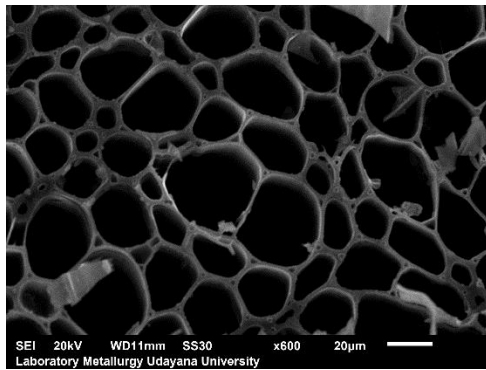
(a)



(b)



(c)



(d)

**Gambar 4. Struktur Pori Pada Spesimen (a)CRB 500, (b)ACRB 500 HT0, (c)ACRB 500 HT30, (d)ACRB 500 HT60**

Pada Tabel 1. merupakan hasil analisa uji *scanning electron microscope* (SEM), data analisa didapat dengan menggunakan bantuan aplikasi image J dan diproses kedalam microsoft excel.

**Tabel 1. Hasil Uji Struktur Pori**

Nama Spesimen	Jari-Jari Pori(µm)
CRB 500	41.37
ACRB 500 HT 0	41.67
ACRB 500 HT 30	34.78
ACRB 500 HT 60	40.97

#### 4.1 Karakteristik Capillary Rise

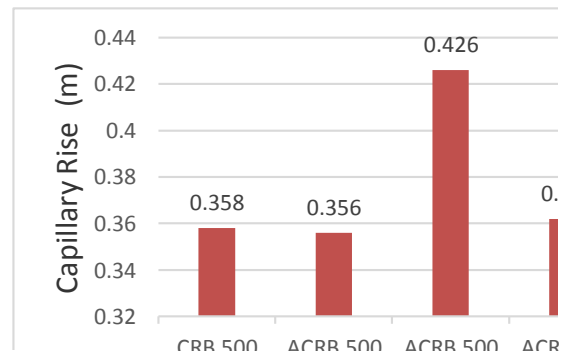
Metode pengujian dilakukan sesuai dengan konsep capillary rise, dimana dengan mengetahui tegangan permukaan cairan atau fluida (Aquades), mengetahui jari-jari pori pada spesimen, dapat ditentukan besarnya nilai capillary rise pada setiap spesimen uji.

Tabel 2. menunjukkan hasil pengolahan data capillary rise pada setiap spesimen uji. Ditampilkan data jari-jari pori (m) dan capillary rise pada setiap spesimen uji. Dimana tegangan permukaan cairan aquades adalah  $72,7 \times 10^{-6}$  N/m, sudut kontak ( $\approx 0^\circ$ ) diasumsikan yang berarti ( $\cos 0 = 1$ ), massa jenis air adalah  $1000 \text{ kg/m}^3$ , gaya gravitasi ( $9,8 \text{ m/s}^2$ ).

Dapat dilihat Gambar 5. bahwa nilai capillary rise tertinggi diperoleh pada spesimen ACRB 500 HT 30, dikarenakan memiliki nilai jari-jari pori paling terkecil. Ukuran Jari-jari pori ini merupakan hasil dari proses karbonisasi dan juga aktivasi yang dimana pada proses tersebut salah satunya dapat memperkecil ukuran pori, tetapi berbeda pada spesimen ACRB 500 HT 60 yang memiliki jari-jari pori lebih besar yang mungkin dikarenakan adanya dinding pori pecah dan menyatu akibat pemanasan yang diberikan lebih lama. Besarnya nilai capillary rise merupakan ukuran tinggi maksimal pada desain pad. Desain pad tidak boleh melebihi besarnya nilai capillary rise dikarenakan air tidak akan terangkat ke permukaan apabila ukuran tinggi pada nya lebih besar daripada nilai capillary rise.

**Tabel 2. Hasil Pengolahan Data Capillary Rise**

Nama Spesimen	Jari-jari Pori (µm)	Capillary Rise (m)
CRB 500	41.37	0,358
ACRB 500 HT 0	41.67	0,356
ACRB 500 HT 30	34.78	0,426
ACRB 500 HT 60	40.97	0,362



**Gambar 5. Grafik perbandingan nilai capillary rise CRB 500, ACRB 500 HT0, ACRB 500 HT30, ACRB 500 HT60**

#### 5. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, pengaruh variasi waktu holding time pada proses aktivasi material karbon aktif bamboo betung, dapat disimpulkan bahwa material karbon aktif bamboo betung ACRB 500 HT30 memiliki nilai capillary rise tertinggi yakni sebesar 0,426 m, sedangkan nilai capillary rise terendah pada ACRB 500 HT0 yakni sebesar 0,356 m. Semakin rendah nilai jari-jari pori material akan menghasilkan nilai capillary rise yang lebih tinggi sehingga material tersebut akan lebih berpotensi digunakan sebagai material pad sistem direct evaporative cooling.

#### Daftar Pustaka

- [1] Talarosa, Basaria, 2005, *Menciptakan Kenyamanan Thermal Dalam Bangunan*, Jurnal Sistem Teknik Industri, Vol. 6 No.3.
- [2] Rizky P.R., Bambang Y., 2014, *Pengaruh Jenis Sprayer Terhadap Efektivitas Direct Evaporative Cooling Dengan Cooling Pad Serabut Kelapa*, Jurnal Teknik Mesin Universitas Diponegoro. Vol. 2, No. 2, pp.78-82.
- [3] Karpiscak, Martin., Marion, Mary H., 1994, *Evaporative Cooler Water Use*, Arizona: College of Agriculture and Life Sciences, University of Arizona (Tucson, AZ).

- [4] Lateef L., Akintunji., Ibrahim U., Haruna et al.,2014, *Theoretical performance analysis of coconut coir as media in evaporative coole.*, International Jurnal of Scientific & Technology Research.
- [5] Niyomvas, Banyat., Potakarat, Bunjerd, 2013, *Performance study of cooling pads*, *Advanced Materials Research*. 664:931–935.
- [6] Byon, C., Sung J.K., Daejeon, 2012, *Capillary performance of bi-porous sintered metal wicks*, pp. 305-701.
- [7] 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>Rony Standi Lumban Gaol</b>                  Telah mengampukan sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana dari 2014 selesai 2021.</p>
<p>Pada penelitian ini terpakai materi-materi berhubungan dengan mekanika fluida, sistem pendinginan evaporative</p>	

# Analisis Kinerja Traksi Kendaraan Roda Tiga Dengan Transmisi Otomatis

I Kd Arik Dwi Pradnyana, I Ketut Adi Atmika, I Made Dwi Budiana Panindra  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

Sistem kontrol traksi ialah suatu teknologi yang sekarang berkembang pesat di bidang teknologi otomotif dalam mempertahankan stabilitas sebuah kendaraan. Kemajuan jaman yang pesat banyak menghasilkan kendaraan niaga dengan basis sepeda motor, kendaraan ini berwujud sepeda motor roda tiga dimana jenis ini biasanya dipergunakan untuk pengangkutan sampah ataupun berdagang. Tujuan penelitian ini guna memahami karakteristik traksi pada kendaraan roda tiga dengan system transmisi otomatis dalam menangani beragam hambatan. Pelaksanaan uji ini mempergunakan alat *dyno test* guna mendapatkan daya-torsi kendaraan. Dari berbagai data yang sudah dikumpulkan, berikutnya dilaksanakan penelitian analisis hambatan pada bidang jalan dan kontak ban, hambatan tahanan, serta karakteristik traksi. Kinerja transmisi serta karakteristik traksi kendaraan yang diujikan yaitu VIAR Karya Bit 100 dengan sistem transmisi otomatis. Dari hasil penelitian diperoleh kurva kecepatan vs traksi tampak masih banyak traksi yang terbuang, hal ini disebabkan karena terjadi kerugian pada system CVT (*Continuously Variable Transmission*), sehingga kinerja traksi belum mencapai kondisi ideal. Kemampuan menanjak VIAR Karya Bit 100 tanpa beban bisa menghadapi kemiringan jalan maksimal hingga  $27,40^\circ$  sementara dengan beban 100 kg bisa menghadapi jalan maksimal hingga  $16,39^\circ$ . Pada sistem transmisi manual dalam penelitian yang dilakukan sebelumnya menghasilkan  $F_{max}$  antara bidang kontak ban dan jalan dalam kondisi tak bermuatan mengalami slip di tingkatan transmisi pertama dan transmisi kedua pada jalan aspal kering, beton basah, beton kering, serta aspal basah sedangkan pada kondisi muatan 150 kg bisa menghadapi semua medan hambatan jalan tanpa mengalami slip dan pada kondisi muatan 100 kg mengalami slip di tingkatan transmisi pertama pada jalan aspal basah.

Kata Kunci : transmisi standar, traksi, torsi, daya, kendaraan roda tiga.

## Abstract

*Traction control system is one of the technology that are currently developing in automotive technology. It is maintaining the stability of a vehicle. Recent years, there have been many commercial vehicles based on motorcycles. These commercial vehicles in the form of three-wheeled motorcycles usually use for trading or transporting garbage. The purpose of this study was to determine the traction characteristics of three-wheeled vehicles with automatic transmission systems in overcoming various kinds of obstacles. This test was carried out using a dyno test tool to obtain vehicle torque. Furthermore, research of the data collected is carried out to analyse the characteristics of traction, incline resistance, obstacles in the contact area of the tire and the road. Traction characteristic and transmission vehicle performance tested by using VIAR Karya Bit 100. From the result of this study, it can be found that the traction curve vs speed showed that there were a lot of wasted traction. This condition due to loss on CVT (continuously variable transmission) system, so that the traction was not reached the ideal conditions. For the ability of climbing from VIAR Karya Bit 100 without load, it could pass road slope maximum  $27.40^\circ$ , then if it was with 100 kg of load, it could pass slope road maximum  $16.39^\circ$  and if it was with 150 kg, it could pass the slope road as  $16.39^\circ$ . On previous study of transmission manual, it showed that  $F_{max}$  between tires area and road in unloaded condition experiencing slip at the first level of transmission and the second transmission on wet asphalt, wet concrete, dry asphalt, and dry concrete. Meanwhile with 100 kg loading conditions experiencing slip on the first level of transmission on wet asphalt. And for 150 kg loading conditions, it could pass all all road obstacles without slipping.*

Keywords : standar transmission, traction, torque, power, tricycle.

## 1. PENDAHULUAN

Transportasi sekarang ini dijadikan kebutuhan yang paling penting bagi masyarakat untuk menunjang kebutuhan hidup mereka setiap hari. Di jaman dahulu transportasi yang digunakan untuk memindahkan orang atau barang menggunakan bantuan hewan seperti: kuda, sapi, kerbau, unta dan lain sebagainya. Dengan berkembangnya jaman, manusia mulai mengenal transportasi kendaraan yang menggunakan mesin untuk

memudahkan mereka memindahkan barang ataupun orang dari sebuah tempat ke tempat lainnya.

Sekarang ini, dunia otomotif mengalami perkembangan yang sangat pesat, dimana produsen otomotif terus berupaya memaksimalkan kualitas produk yang dimilikinya supaya bisa mencukupi keinginan konsumennya serta bersaing dipasaran. Seperti sekarang ini, banyak sepeda motor yang dimodifikasi dengan menambah bak terbuka dibelakang

kendaraan yang ada di pasaran. Adanya penambahan bak ini menunjukkan sepeda motor sebagai kendaraan transportasi publik mempunyai fungsi lebih sebagai alat transportasi. Dari berbagai penelitian sebelumnya, modifikasi sepeda motor yang beredar sekarang ini, mengakibatkan kinerja kendaraan misalnya kinerja dan kestabilan dari kendaraan tersebut, memiliki perbedaan daripada kendaraan sepeda motor secara umum. Sehingga dalam mengendarainya diperlukan penyesuaian [1].

Kemajuan jaman yang berkembang pesat, banyak menghasilkan kendaraan niaga dengan basis sepeda motor, yang berwujud sepeda motor roda tiga dimana kendaraan ini umumnya dipergunakan untuk pengangkutan sampah ataupun berdagang. Kendaraan roda tiga ialah jenis perkembangan yang baik diantara kestabilan kendaraan roda empat dengan kemampuan manuver sepeda motor [2].

Kendaraan roda tiga merupakan sintesis yang baik diantara kestabilan kendaraan roda empat dan keringkasan dan kemampuan manuver sepeda motor. Ketika Kendaraan *Tilting Three Wheeled* ketika sedang belok akan mempertahankan gaya resultan segaris dengan body kendaraan. Ini akan memberikan keuntungan sebab dapat meminimalisir lebar trek kendaraan serta mempunyai ketahanan guling yang baik. Kendaraan dengan TTW dapat didesain lebih ringan, mengurangi *aerodynamic drag*. Dengan perancangan yang baik, kendaraan roda tiga bisa mempunyai karakteristik *overtum resistance* (ketahanan guling dan *handling* yang serupa bahkan lebih baik daripada kendaraan roda empat [2]

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan terhadap kendaraan roda empat mengenai “Kinerja Transmisi dan Karakteristik Traksi pada Sistem *Gearless Transmissio* dan *Gear Transmission*” kinerja transmisi dan karakteristik traksi kendaraan yang di uji pada Toyota Kijang Tahun 2012 merupakan model traksi yang dilaksanakan menggunakan metode simulasi. [3] mengatakan dengan merubah rasio gigi transmisi kendaraan, gaya traksi yang diperoleh bisa bermacam-macam dan bisa ada pengaruh pada kemampuan kendaraan dengan kondisi operasi tertentu. Dari data yang didapatkan, makin banyaknya tingkat transmisi maka traksi yang terbuang semakin kecil.

Sistem transmisi otomatis dengan CVT meliputi *driven pulley* (puli sekunder) dan *driver pulley* (puli primer) yang di hubungkan dengan *V-belt*. Puli primer memiliki *speed governor* dimana peranannya mengubah kecil besarnya diameter puli primer. *Speed governor* mempunyai 6 *roller* sentrifugal yang bisa menerima gaya sentrifugal karena perputaran poros dari *crankshaft*, dimana *roller* sentrifugal juga bisa terlempar menekan bagiandalam satu sisi puli yang bisa *sliding sheave* (bergeser) ke arah *fixed sheave* (puli tetap) dengan demikian mengakibatkan adanya perbedaan diameter puli primer yakni mengecil atau membesar.

Perbedaan ini memberi efek terhadap rasio transmisi [4].

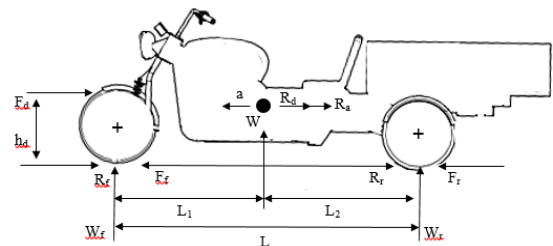
Transmisi otomatis merupakan transmisi yang melaksanakan perpindahan gigi percepatan dengan otomatis. Guna merubah tingkatan kecepatan pada system transmisi otomatis ini dipergunakan mekanisme tekanan dan gesek minyak transmisi otomatis. Transmisi otomatis pada roda gigi planetari memiliki fungsi guna merubah tingkatan torsi dan kecepatan serupa dengan roda gigi pada transmisi manual. Masyarakat yang cenderung mempergunakan transmisi otomatis hingga sekarang ini mengalami peningkatan, secara khusus untuk sepeda motor dan mobil mewah, dimana jenis kendaraan tertentu sudah semuanya mempergunakan transmisi otomatis. Transmisi otomatis meliputi berbagai komponen yang terdiri dari *Hidraulic control*, *planetary gear*, *Torque converter* [5].

Dari pemaparan tersebut, tentunya tiap kendaraan mempunyai karakteristik yang berbeda, sehingga penelitian mengenai “Analisis Kinerja Traksi Kendaraan Roda Tiga Dengan Transmisi Otomatis” diharapkan bisa mempergigitungkan daya torsi kendaraan roda tiga mempergunakan *dyno test*, dengan demikian hasil uji yang sudah dilaksanakan bisa memperoleh hasil kinerja transmisi otomatis dan karakteristik traksi pada kendaraan roda tiga dalam menghadapi beragam hambatan kendaraan.

## 2. Metode Penelitian

### Rumus Gaya Dorong (Traksi)

Dinamika kendaraan umumnya memberikan gambaran keamanan dan kenyamanan kendaraan, stabilitas arahkendaraan, perilaku arah kendaraan, gerak keadaan kendaraan yang berkaitan dengan kecelakaan ketika sedang jalan. Untuk menghindari hal tersebut, dalam penguraian dan pemahaman berbagai konsep dasar dalam dinamika kendaraan, maka dalam kendaraan hanya dimodelkan menjadi suatu benda kaku dengan mengabaikan pengaruh dari suspense yang ada di kendaraan. Gambar 1 memperlihatkan diagram aliran bodi bebas bergerak lurus dan memperlihatkan berbagai gara hambat yang berupa hambatan *rolling* serta hambatan aerodinamis.



**Gambar 1. Diagram bodi bebas kendaraan roda tiga**  
Keterangan :

$W_f, W_r$  = Gaya reaksi normal jalan pada roda belakang serta depan (N).

- $R_{rf}, R_{rr}$  = Gaya hambat *rolling resistance* pada roda belakang serta depan (N).
- $F_r, F_f$  = Gaya dorong pada roda belakang serta depan (N).
- $W$  = Berat total kendaraan (N).
- $a$  = Percepatan kendaraan ( $m/s^2$ ).
- $h$  = Tinggi titik berat (m).
- $R_a, F_d$  = Hambatan aerodinamis (N).

Gaya dorong dirumuskan berikut :

- Penggerak 2 roda belakang :  

$$F = F_r = R_a + R_r + R_g + R_d + \frac{W}{g} a \quad (1)$$

Keterangan :

- $a$  = Percepatan kendaraan ( $m/s^2$ )
- $W$  = Berat total kendaraan (N)
- $R_g$  = Hambatan tanjakan (N)
- $R_d$  = Hambatan karena menarik beban (N)
- $R_r$  = *Rolling resistance* (N)
- $R_a$  = Hambatan aerodinamis (N)
- $F$  = Total gaya traksi yang dibutuhkan (N)

Gaya dorong maksimum secara fisik bisa diperhitungkan dengan kontak antara jalan dan ban yaitu sebanyak gaya normal dikali  $\mu$  (koefisien gaya gesek) diantara jalan dan ban, dengan rumusan :

- Untuk penggerak 2 roda belakang :  

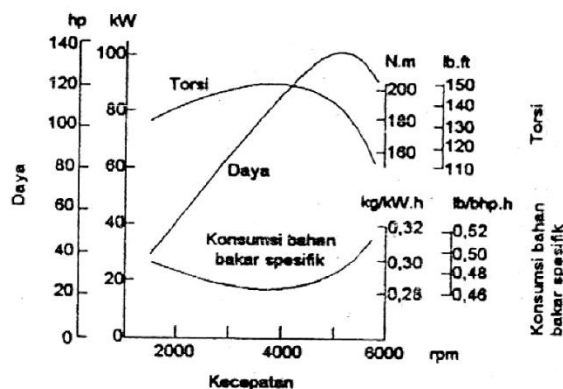
$$F_{\max} = F_{r \max} = \frac{\mu \cdot W (L_1 - f_r \cdot h)}{L + \mu \cdot h} \quad (2)$$

Keterangan :

- $F_{\max}$  = Gaya maksimum (N).
- $\mu$  = Koefisien gesek ban dan jalan.
- $W$  = Beban total kendaraan (N).
- $L_1$  = Jarak statis ke poros depan (m).
- $f_r$  = Koefisien *rolling resistance*.
- $h$  = Tinggi titik berat (m).
- $L$  = *Wheel base* (m).

### Karakteristik Transmisi

Secara umum, kurva karakteristik daya-torsi kendaraan tiap kecepatan (Rpm) digambarkan berikut :



Gambar 2. Karakteristik kinerja mesin bensin [6]

Jika sebuah system *drive train* di karakteristik dengan berbagai perbandingan gigi reduksi ( $i$ ) dan parameter efisien ( $\eta_t$ ), maka traksi pada roda penggerak bisa menggunakan rumusan :

$$F_k = \frac{M_e(v) \cdot i_k \cdot i_d}{r} \eta_t \quad (3)$$

Dimana :

- $\eta_t$  = Efisiensi transmisi (%)
- $i_d$  = Rasio roda gigi differensial.
- $i_k$  = Rasio roda gigi ke-k.
- $r$  = Jari-jari roda penggerak (m).
- $F_k$  = Gaya traksi pada tingkat ke-k (N).
- $M_e$  = Torsi mesin untuk kecepatan  $v$  (Nm).

Selanjutnya hubungan kecepatan kendaraan dengan kecepatan putaran mesin yaitu (Sutantra, 2001) :

$$V = \frac{0,06(1-S) \cdot \pi \cdot D \cdot N}{i_k \cdot i_d} \quad (4)$$

Dimana:

- $S$  = Koefisien slip pada ban kendaraan (2-5%)
- $N$  = Putaran mesin (Rpm)
- $D$  = Diameter roda (cm)
- $V$  = Kecepatan kendaraan (km/h)

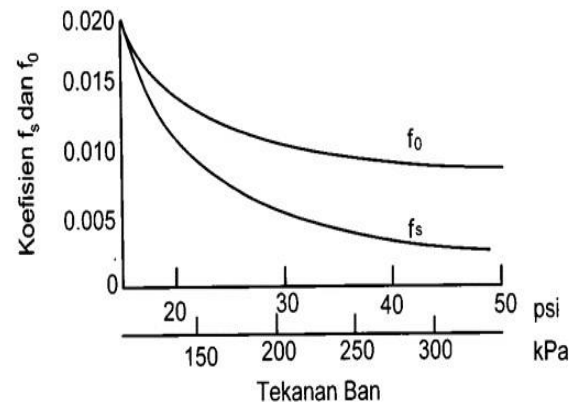
### Gaya Hambat Kendaraan

Dari berbagai hasil eksperimen, rumusan yang diajukan guna memperhitungkan koefisien *rolling resistance* ( $f_r$ ) pada permukaan jalan keras. Kendaraan penampang pada jalan beton bisa diperhitungkan dengan rumusan :

$$f_r = f_o + f_s \left( \frac{V}{100} \right)^{2,5} \quad (5)$$

Keterangan :

- $V$  = Kecepatan kendaraan (km/h)
- $f_o, f_s$  = Koefisien yang bergantung dari tekanan ban, diamati dari Gambar 2.3.



Gambar 3. Pengaruh tekanan ban pada  $f_o$  dan  $f_s$  [6]

Rata-rata koefisien adhesi antara jalan dan ban untuk berbagai jenis jalan yang diperlihatkan di bawah ini.

**Tabel 1. Rata-rata koefisien adhesi ban pada bermacam jenis jalan [6]**

Permukaan jalan	Koefisien adhesi tertinggi $\mu_p$	Koefisien adhesi roda lock $\mu_s$
Beton dan Aspal (kering)	0,8 – 0,9	0,75
Ice	0,1	0,07
Snow	0,2	0,15
Jalan tanah (kering)	0,68	0,65
Jalan tanah (basah)	0,55	0,4 – 0,55
Gravel	0,6	0,55
Beton (basah)	0,8	0,7
Aspal (basah)	0,5 – 0,7	0,55 – 0,6

**Gaya Hambat Aerodinamis**

Komponen gaya aerodinamis merupakan gaya samping aerodinamis ( $F_s$ ), gaya angkat aerodinamis ( $F_L$ ), serta gaya hambatan angin aerodinamis ( $F_d$ ) bisa dihitung dengan rumus [6] :

$$F_d = \frac{1}{2} \rho \cdot A_f \cdot C_d \cdot V^2 \quad (6)$$

$$F_L = \frac{1}{2} \rho \cdot A_f \cdot C_L \cdot V^2 \quad (7)$$

$$F_s = \frac{1}{2} \rho \cdot A_f \cdot C_s \cdot V^2 \quad (8)$$

Keterangan :

$\rho$  = densitas udara ( $\text{kg/m}^3$ ).

$V$  = kecepatan relatif diantara angin dan kendaraan (m/s).

$C_s, C_L, C_d$  = koefisien gaya hambat aerodinamis.

$A_f$  = luasan frontal kendaraan ( $\text{m}^2$ ).

*Representative* koefisien aerodinamik untuk beberapa tipe kendaraan diperlihatkan pada Tabel 2.

**Tabel 2. Koefisien aerodinamik kendaraan [6]**

No	Jenis kendaraan	Koefisien hambat
1	Sepeda motor + pengendara	1,8
2	Tractor – Trailer	0,8 – 1,3
3	Truck	0,8 – 1,0
4	Bus	0,6 – 0,7
5	Kendaraan balap	0,25 – 0,3
6	Kendaraan convertible	0,4 – 0,65
7	Kendaraan penumpang	0,3 – 0,6

**Analisis Tanjakan**

Maka besaran sudut tanjakan jalan yang bisa dilewati kendaraan dengan kecepatan tertentu bisa mempergunakan rumus :

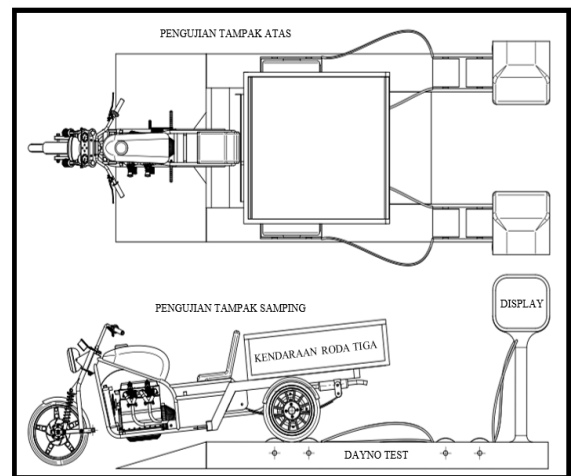
$$F = W \sin \theta + R_r + R_a$$

$$W \sin \theta = F_{net}$$

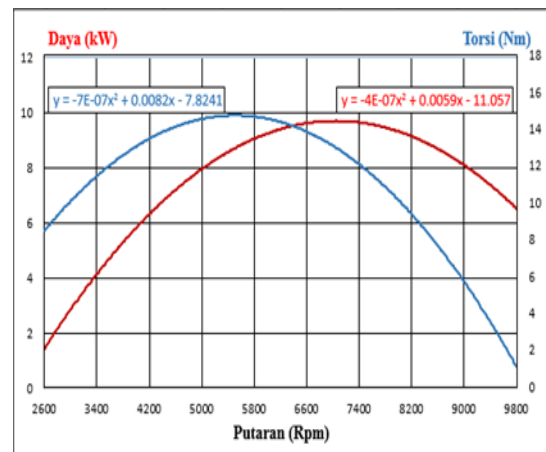
$$\theta = \arcsin \frac{F_{net}}{W} \quad (9)$$

**3. Hasil dan Pembahasan Perhitungan Kinerja Traksi dan Nilai  $F_{max}$**

Langkah awal yakni melaksanakan uji akselerasi dan performa guna memperoleh hasil besaran daya torsi maksimum ini mempergunakan *dyno test* yang bisa diamati dari desain saat uji kendaraan roda tiga pada gambar 4.



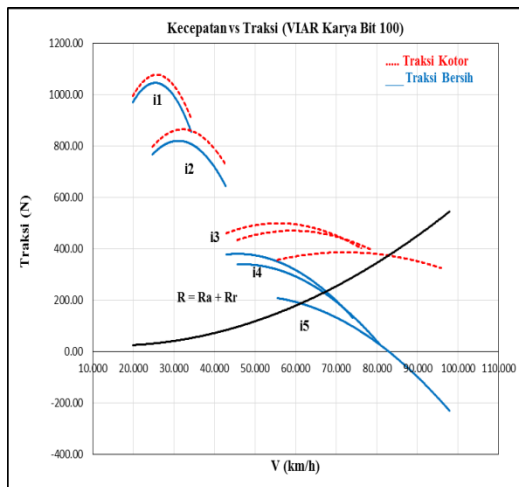
**Gambar 4. Desain 2D pengujian kendaraan roda tiga mempergunakan *dyno test***



**Gambar 5. Karakteristik daya-torsi VIAR Karya Bit 100**

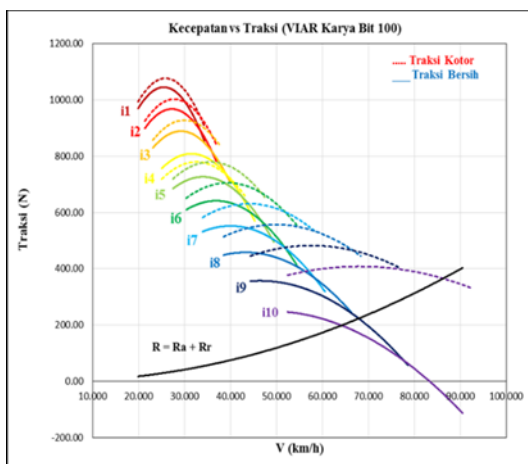


Langkah selanjutnya yakni dari berbagai data yang dikumpulkan dalam uji kendaraan roda tiga kondisi standar. Berikutnya akan diperoleh hasil penghitungan kinerja traksi dengan beban 150 kg dan 100 kg serta tanpa beban guna menghadapi beragam hambatan tanjakan yang digambarkan dalam grafik berikut :



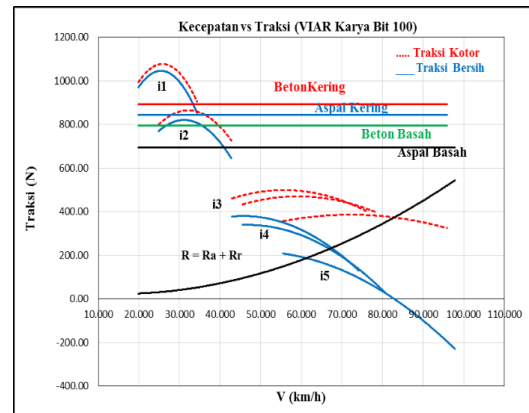
Gambar 6. Traksi vs kecepatan kendaraan transmisi otomatis tak bermuatan

Gambar 6 menunjukkan kurva traksi vs kecepatan transmisi otomatis dalam kondisi tak bermuatan terlihat bahwa masih banyak traksi yang terbuang, hal ini disebabkan karena terjadi kerugian pada sistem CVT (*Continuously Variable Transmission*), sehingga kinerja traksi belum mencapai kondisi ideal. Kendala lainnya pada kendaraan VIAR Karya Bit 100 di hambatan  $F_{max}$  antara bidang kontak jalan dan ban yang terlihat pada Gambar 8, mengalami slip di tingkat percepatan kedua pada jalan beton kering, beton basah, aspal kering dan beton basah sedangkan tingkat percepatan pertama dan ketiga tidak mengalami slip di jalan. Hal ini disebabkan karena nilai traksi total lebih besar dibandingkan nilai  $F_{max}$  pada hambatan jalan.

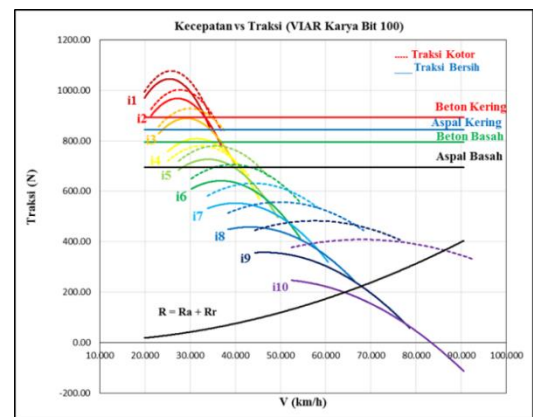


Gambar 7. Traksi vs kecepatan kendaraan transmisi otomatis tak bermuatan

Gambar 7 menunjukkan kurva traksi vs kecepatan transmisi otomatis dengan rasio 10 tingkat, dalam kondisi tak bermuatan terlihat bahwa masih banyak traksi yang terbuang, hal ini disebabkan karena terjadi kerugian pada sistem CVT (*Continuously Variable Transmission*), sehingga kinerja traksi belum mencapai kondisi ideal. Pada grafik rasio 10 tingkat pada transmisi otomatis kecepatan yang dihasilkan lebih konstan atau kontinu.



Gambar 8.  $F_{max}$  pada bidang kontak ban dan jalan transmisi otomatis tak bermuatan



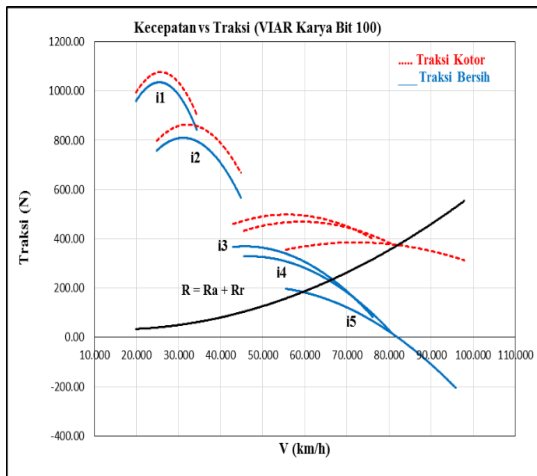
Gambar 9.  $F_{max}$  pada bidang kontak ban dan jalan transmisi otomatis tak bermuatan

Gambar 8 serta gambar 9 menunjukkan pada jalan beton kering dalam kondisi kosong traksi maksimum yang dibutuhkan guna melewati jalan ini yaitu 893,61 N, sementara traksi total yang dapat dihasilkan oleh VIAR Karya Bit 100 tersebut yakni 996,34 N.

Untuk jalan aspal kering dalam kondisi kosong traksi maksimum yang dibutuhkan guna melewati jalan ini yaitu 843,96 N, sementara traksi total yang dapat dihasilkan oleh VIAR Karya Bit 100 tersebut yaitu 996,34 N.

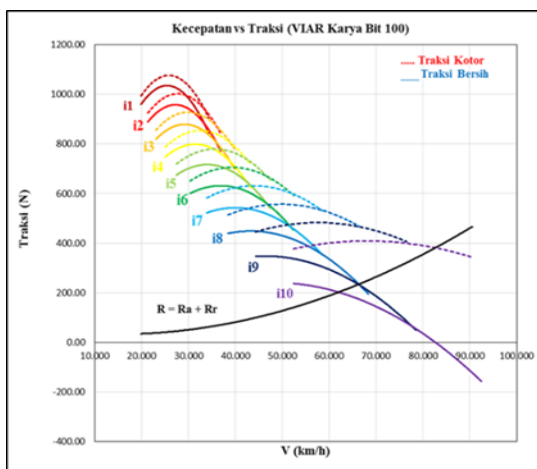
Untuk jalan beton basah dalam kondisi kosong traksi maksimum yang dibutuhkan guna melewati jalan ini yaitu 794,32 N, sementara traksi total yang dapat dihasilkan oleh VIAR Karya Bit 100 tersebut yaitu 996,34 N.

Untuk jalan aspal basah dalam kondisi kosong traksi maksimum yang dibutuhkan guna melewati jalan ini adalah sebesar 695,029 N, semntara traksi total yang dapat dihasilkan oleh VIAR Karya Bit 100 tersebut yaitu 996,34 N.



**Gambar 10. Traksi vs kecepatan kendaraan transmisi otomatis muatan 100 kg**

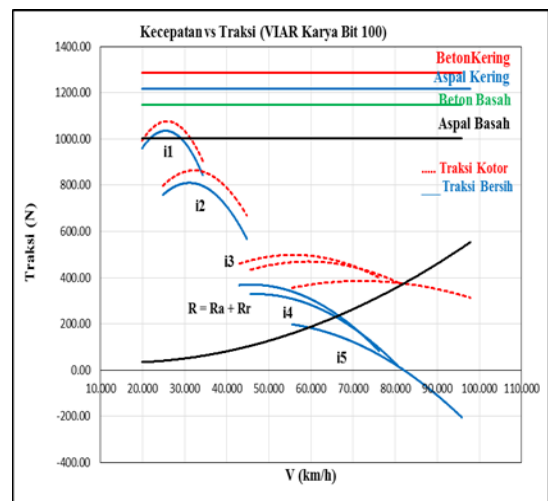
Gambar 10 menunjukkan kurva traksi vs kecepatan transmisi otomatis dalam kondisi bermuatan 100 kg terlihat bahwa masih banyak traksi yang terbuang, hal ini disebabkan karena terjadi kerugian pada sistem CVT (*Continuously Variable Transmission*), sehingga kinerja traksi belum mencapai kondisi ideal. Kendala lainnya pada kendaraan VIAR Karya Bit 100 di hambatan  $F_{max}$  antara bidang kontak jalan dan ban yang terlihat pada Gambar 10, mengalami slip di tingkatan rasio pertama pada jalan aspal basah. Hal ini disebabkan karena nilai traksi total lebih besar dibandingkan dengan nilai  $F_{max}$  pada aspal basah.



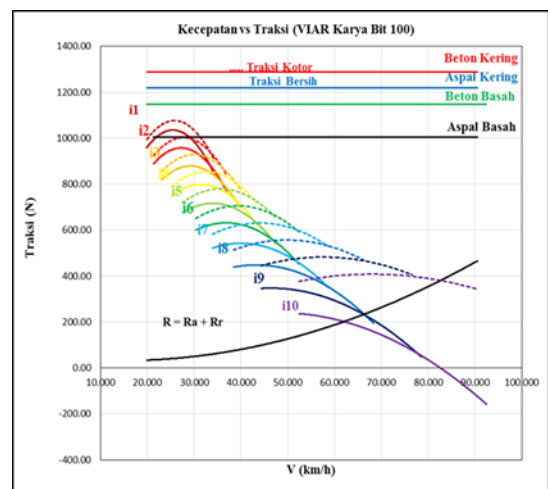
**Gambar 11. Traksi vs kecepatan kendaraan transmisi otomatis muatan 100 kg**

Gambar 11 menunjukkan kurva traksi vs kecepatan transmisi otomatis dengan rasio 10 tingkat, dalam kondisi tak bermuatan terlihat bahwa masih banyak traksi yang terbuang, hal ini disebabkan karena terjadi

kerugian pada sistem CVT (*Continuously Variable Transmission*), sehingga kinerja traksi belum mencapai kondisi ideal. Pada kurva grafik 10 tingkat pada transmisi otomatis kecepatan yang dihasilkan lebih konstan atau kontinu.



**Gambar 12.  $F_{max}$  pada bidang kontak jalan dan ban transmisi otomatis muatan 100 kg**



**Gambar 13.  $F_{max}$  pada bidang kontak ban dan jalan transmisi otomatis muatan 100 kg**

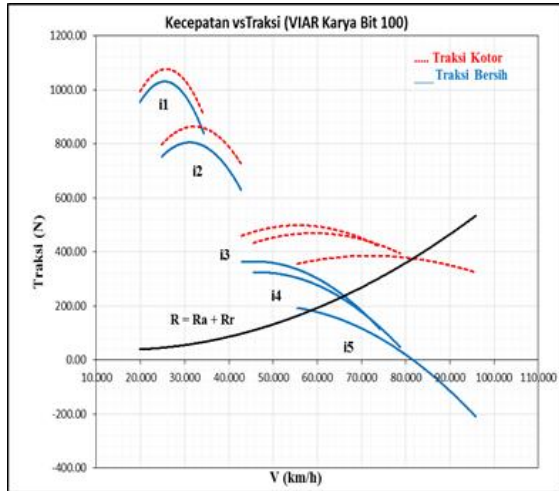
Gambar 12 dan Gambar 13 menunjukkan kondisi jalan beton kering dengan beban 100 kg traksi maksimum yang dibutuhkan guna melewati jalan ini yaitu 1288,39 N, sementara traksi total yang dapat dihasilkan oleh VIAR Karya Bit 100 tersebut yaitu 996,34 N.

Untuk jalan aspal kering dalam kondisi muatan 100 kg traksi maksimum yang dibutuhkan guna melalui jalan ini yaitu 1218,73 N, sementara traksi total yang dapat dihasilkan oleh VIAR Karya Bit 100 tersebut yaitu 996,34 N.

Untuk jalan beton basah dalam kondisi muatan 100 kg traksi maksimum yang dibutuhkan guna melalui

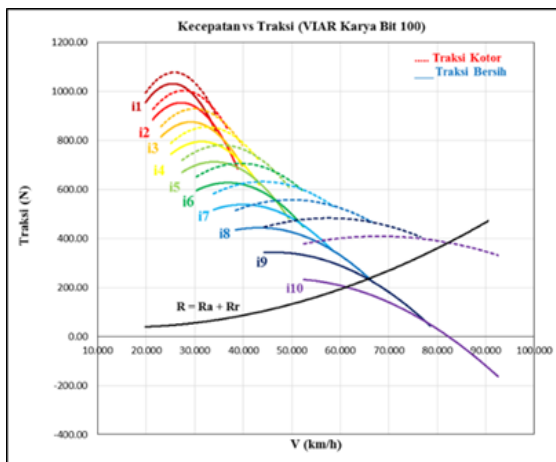
jalan ini yaitu 1147,04 N, sementara traksi total yang dapat dihasilkan oleh VIAR Karya Bit 100 tersebut yaitu 996,34 N.

Untuk jalan aspal basah dalam kondisi muatan 100 kg traksi maksimum yang dibutuhkan guna melalui jalan ini yaitu 1003,66N, sedangkan traksi total yang dapat dihasilkan VIAR Karya Bit 100 tersebut yaitu 996,34 N.



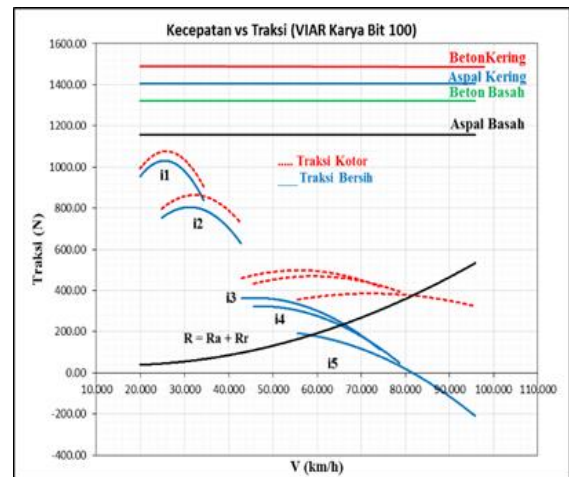
**Gambar 14. Traksi vs kecepatan kendaraan transmisi otomatis bermuatan 150kg**

Gambar 14 menunjukkan kurva traksi vs kecepatan transmisi otomatis dalam kondisi bermuatan 150 kg terlihat bahwa masih banyak traksi yang terbuang, hal ini disebabkan karena terjadi kerugian pada sistem CVT (*Continuously Variable Transmission*), sehingga kinerja traksi belum mencapai kondisi ideal. Walaupun banyak traksi yang terbuang tetapi kendaraan VIAR Karya Bit 100 mampu melalui hambatan  $F_{max}$  antara bidang kontak ban dan jalan tanpa mengalami slip yang terlihat pada Gambar 14 Hal ini disebabkan karena nilai traksi total lebih kecil dengan nilai  $F_{max}$  pada hambatan setiap jalan.

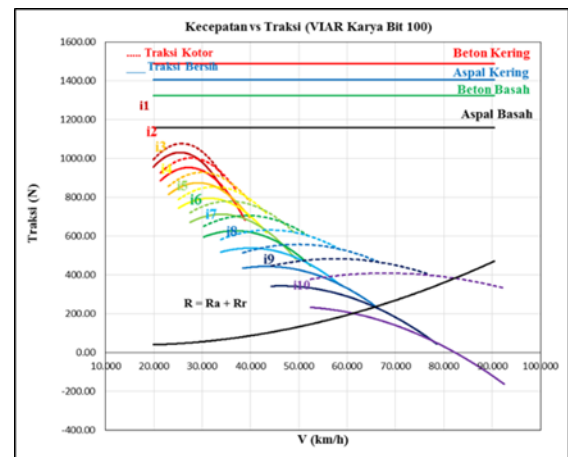


**Gambar 15. Traksi vs kecepatan kendaraan transmisi otomatis bermuatan 150kg**

Gambar 15 menunjukkan kurva traksi vs kecepatan transmisi otomatis dengan rasio 10 tingkat, dalam kondisi bermuatan 150kg terlihat bahwa masih banyak traksi yang terbuang, hal ini disebabkan karena terjadi kerugian pada sistem CVT (*Continuously Variable Transmission*), sehingga kinerja traksi belum mencapai kondisi ideal. Pada kurva grafik 10 tingkat pada transmisi otomatis kecepatan yang dihasilkan lebih konstan atau kontinu.



**Gambar 16.  $F_{max}$  pada bidang kontak ban dan jalan transmisi otomatis bermuatan 150kg**



**Gambar 17.  $F_{max}$  pada bidang kontak ban dan jalan transmisi otomatis bermuatan 150kg**

Gambar 16 dan Gambar 17 menunjukkan pada jalan beton kering dalam kondisi muatan 150 kg traksi maksimum yang dibutuhkan guna melalui jalan ini yaitu 1488,82 N, sementara traksi total yang dapat dihasilkan oleh VIAR Karya Bit 100 tersebut yaitu 996,34 N.

Untuk jalan aspal kering dalam kondisi muatan 150 kg traksi maksimum yang dibutuhkan guna melalui jalan ini yaitu 1406,11 N, sementara traksi total yang dapat dihasilkan oleh VIAR Karya Bit 100 tersebut yaitu 996,34 N.

Untuk jalan beton basah dalam kondisi muatan 150 kg traksi maksimum yang dibutuhkan guna melalui jalan ini yaitu 1323,40 N, sementara traksi total yang dapat dihasilkan oleh VIAR Karya Bit 100 tersebut yaitu 996,34 N.

Untuk jalan aspal basah dalam kondisi muatan 150 kg traksi maksimum yang dibutuhkan guna melalui jalan ini yaitu 1157,97 N, sementara traksi total yang dihasilkan VIAR Karya Bit 100 tersebut yaitu 996,34 N.

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil analisis diatas diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

- Kurva kecepatan vs traksi tampak masih banyak traksi yang terbuang, hal ini disebabkan karena terjadi kerugian pada system CVT (*Continuously Variable Transmission*), sehingga kinerja traksi belum mencapai kondisi ideal. Sementara perbedaan diantara traksi kotor dan bersih sangat besar dilihat dari kurva yang tidak berhimpitan. Pada transmisi otomatis grafik kurva traksi vs kecepatan lebih konstan dan kontinu.
- Pada analisis  $F_{max}$  antara bidang kontak ban dan jalan dalam kondisi tak bermuatan mengalami slip di rasio kedua pada jalan beton aspal basah, beton basah aspal kering, serta beton kering, sedangkan pada kondisi bermuatan 100 kg terjadi slip di rasio pertama pada jalan aspal basah dan pada kondisi muatan 150 kg bisa melalui semua medan hambatan jalan tanpa mengalami slip. Dalam kemampuan menanjak, VIAR Karya Bit tanpa beban ini bisa melalui kemiringan jalan maksimum hingga  $27,40^\circ$ , dengan beban 150 kg bisa melalui kemiringan jalan maksimum hingga  $16,39^\circ$ , sementara dengan beban 100 kg bisa melalui kemiringan jalan maksimum hingga  $19,09^\circ$ .

#### Daftar Pustaka

- [1] Dantes, Kadek Rihendra, 2013, *Karakteristik Prilaku Arah Belok Kendaraan Tossa Hercules*, Rekayasa Mesin Vol.4, No.2 4(2):125–32
- [2] Juwana, Wibawa Endra, dan Jaka Sulistya Budi, 2014, *Analisis Karakteristik Handling Kendaraan Roda Tiga Dengan Revolute Joint Frame.*” Mekanika 12(2).
- [3] Komaladewi, A., dan I. Atmika, 2014, *Kinerja Transmisi Dan Karakteristik Traksi Pada System Gearless Transmission serta Gear Transmission*, Jurnal Manufaktur dan Energi 7(1):57–62. doi: 10.24843/10.24843/MITE.

- [4] Komaladewi, Aaia Sri, Agus Haryawan, dan I. Ketut Adi Atmika, 2015, *Tinjauan Kinerja Traksi CVT Dengan Variasi Konstanta Pegas Berat Roller Dan Sliding Sheave Sentrifugal Pada Sepeda Motor Miii-179 Miii-180.*” 13–15.
- [5] Susanto, Novie, dan Ratna Purwaningsih, 2017, *Analisis Pengaruh Transmisi Mobil Otomatis Dan Manual Pada Tingkatan Kesulitan Yang Ditemui Pengemudi Pemula.*” J@ Ti Undip: Jurnal Teknik Industri 12(3):197–204.
- [6] Sutantra, I. Nyoman, 2009, *Teknologi Otomotif Aplikasi dan Teorinya Edisi Revisi*, Guna Widya, Surabaya.



# Green composite Pelepah Pinang, Pati Singkong dan Resin Epoksi Sebagai Material Ramah Lingkungan

Ni Made Marlinawati<sup>1</sup>, I Putu Yudi Octavian<sup>2</sup>, Ni Luh Gede Lisdiantari<sup>3</sup>,  
& I Gede Nengah Wika Gunawan<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Farmasi Universitas Udayana, Bukit Jimbaran, Bali

<sup>2</sup>Program Studi Farmasi Universitas Udayana, Bukit Jimbaran, Bali

<sup>3</sup>Program Studi Kimia Universitas Udayana, Bukit Jimbaran, Bali

<sup>4</sup>Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit Jimbaran, Bali

## Abstrak

Komposit tersusun dari dua atau lebih bahan yang berlainan. Komposit yang berasal dari serat sintesis dapat menimbulkan pencemaran lingkungan, sehingga diperlukan bahan yang lebih ramah lingkungan yaitu pati singkong, pelepah pinang, dan resin epoksi. Pelepah pinang memiliki kandungan selulosa yang tinggi sehingga dapat digunakan sebagai filler. Resin epoksi memiliki sifat yang sulit terdegradasi, sehingga digunakan pati singkong untuk memudahkan proses degradasi komposit. Dengan menggunakan metode blend dan hand lay up, komposit dibuat dalam 4 komposisi yaitu (50:50)%v, (60:40)%v, (75:25)%v, (80:20)%v dan masing-masing komposisi dibagi empat dan ditambahkan dengan 0 g, 3 g, 6 g, dan 9 g pati singkong. Berdasarkan hasil uji tarik diperoleh elastisitas modulus tertinggi pada sampel D9 sebesar 128,84 MPa dan tegangan maksimum pada sampel A6 sebesar 0,896 N/m<sup>2</sup>. Uji dampak yang memerlukan energi terbesar terdapat pada sampel A6 dan D9 dengan energi yang diperlukan sebesar 28,1363 Joule. Perbedaan kekuatan dapat disebabkan karena terdapatnya void. Hal ini juga ditunjukkan oleh hasil pengujian struktur morfologi permukaan yang memperlihatkan masih terdapat void di dalam komposit sehingga kekuatan komposit tidak maksimal dan terdapat ikatan antar material yang tidak merata pada beberapa sampel. Berdasarkan pengujian termal diketahui bahwa sampel A6 memiliki penghantaran panas yang lebih baik dari sampel lainnya dengan nilai konduktivitas termal sebesar 0,26 W/mK. Pada pengujian biodegradable membuktikan bahwa sampel yang berisi campuran pati singkong menunjukkan perubahan yang cukup signifikan dengan rata-rata nilai degradasi sampel setelah 30 hari penguburan sebesar 0,018%.

**Kata Kunci :** Komposit, Pelepah Pinang, Uji Tarik dan Dampak, Uji Biodegradable, Uji Termal, SEM

## Abstract

Composites are made up of two or more different materials. Composites derived from synthetic fibers can cause environmental pollution, so that more environmentally friendly materials are needed, namely cassava starch, betel nut, and epoxy resin. Areca nut has a high cellulose content so it can be used as a filler. Epoxy resin has properties that are difficult to degrade, so cassava starch is used to facilitate the composite degradation process. By using the blend and hand lay up methods, the composite was made in 4 compositions, namely (50:50)%v, (60:40)%v, (75:25)%v, (80:20)%v and respectively The composition was divided into four and added with 0 g, 3 g, 6 g, and 9 g of cassava starch. Based on the tensile test results, the highest modulus of elasticity in sample D9 is 128.84 MPa and the maximum stress in sample A6 is 0.896 N/m<sup>2</sup>. The impact test that requires the greatest energy is found in samples A6 and D9 with the required energy of 28.1363 Joules. The difference in strength can be caused by the presence of voids. This is also shown by the test results of the surface morphology structure which show that there are still voids in the composite so that the composite strength is not optimal and there are uneven bonds between materials in some samples. Based on thermal testing, it is known that sample A6 has better heat conductivity than other samples with a thermal conductivity value of 0.26 W/mK. The biodegradable test proved that the sample containing a mixture of cassava starch showed a significant change with the average degradation value of the sample after 30 days of burial of 0.018%.

**Keywords:** Composite, Areca Nut, Tensile and Impact Test, Biodegradable Test, Thermal Test, SEM

## 1. Pendahuluan

Komposit adalah suatu material yang tersusun dari minimal dua atau lebih material yang berbeda jenis (organik dan anorganik). Bahan komposit dari bahan anorganik seperti serat sintesis tentunya akan menimbulkan pencemaran lingkungan. Pilihan lain yang dapat dilakukan yaitu dengan

mengembangkan material komposit dari serat alam. Serat alam dapat berasal dari kelapa, bambu, pisang, ijuk, aren, pinang dan tanaman lainnya. Bahan-bahan ini nantinya harus dapat berorientasi pada keberadaan dan jumlah melimpah, kualitas tinggi dengan harga yang terjangkau, serta tentu saja ramah lingkungan [1][2][3].

Pelepah pinang merupakan serat alam yang dapat digunakan sebagai bahan *green composite*. Serat dari pelepah pinang merupakan senyawa organik yang terdiri atas hemiselulosa, selulosa serta lignin. Selulosa dari serat alami ini dapat digunakan sebagai bahan pengisi (*filler*) pada bahan *green composite*. Terkandung 57,35-58,21% selulosa dari total komposisi senyawa yang dimiliki oleh serat pinang [4][5].

Selain sebagai *filler*, komposit juga dapat berperan sebagai perekat yang berfungsi untuk menguatkan dan melindungi bahan pengisi. Agar komposit dapat bertahan lama, digunakan bahan resin epoksi yang tahan terhadap suhu tinggi, bersifat mekanik baik, serta tidak mudah meleleh setelah pemanasan berulang selama digunakan, tetapi sifat tidak melelehnya ini menyebabkan resin menjadi sulit untuk didegradasi dan berpotensi untuk merusak lingkungan [6]. Maka dari itu, digunakan bahan tambahan lain untuk mempermudah degradasi di lingkungan, yaitu pati. Pati yang digunakan yaitu pati singkong atau ubi kayu karena memiliki kandungan pati yang tinggi yaitu sebesar 78-86% [7].

Bahan komposit yang dibuat dari pati singkong, pelepah pinang dan resin epoksi akan diaplikasikan sebagai material alternatif dalam pembuatan alat makan agar lebih ramah lingkungan. Sehingga diperlukan penelitian yang lebih mendalam terkait efektivitas dan komposisi optimal dari bahan-bahan yang digunakan untuk pembuatan komposit sehingga dihasilkan material yang kuat, tahan lama serta dapat terdegradasi.

Tujuan dari penelitian ini yaitu diketahuinya efektivitas dan komposisi optimal dari serat pelepah pinang, resin epoksi, dan pati singkong untuk menghasilkan material komposit yang kuat, tahan lama, dan ramah lingkungan. Adapun permasalahan yang dibahas adalah bagaimana efektivitas dan komposisi optimal dari komposit serat pelepah pinang, resin epoksi, dan pati singkong untuk menghasilkan material yang kuat, tahan lama, dan ramah lingkungan

## 2. Dasar Teori

### 2.1. *Green composite* dan Perkembangannya

Komposit umumnya terdiri dari dua unsur, yakni unsur bahan pengisi (*filler*) dan matriks yang berfungsi sebagai pengikat dan perekat yang mencegah *filler* dari kerusakan eksternal [8]. Fungsi *filler* atau bahan penyusun selain untuk menguatkan komposit juga sebagai bagian utama yang menentukan karakteristik suatu komposit. Terdapat dua jenis bahan pengisi (*filler*) yakni bahan

alamiah dan sintetis [3]. *Filler* yang terbuat dari serat sintetis dapat menyebabkan pencemaran lingkungan dan gangguan kesehatan karena menghasilkan limbah anorganik yang sukar terurai di tanah. Dengan demikian, pengembangan dan penggunaan bahan alami terus mendorong pengembangan teknologi *green composite* yang ramah lingkungan [4].

Komposit yang berasal dari material – material alami yang ramah lingkungan disebut *green composite* atau lebih dikenal dengan sebutan biokomposit. Pengaplikasian *green composite* telah banyak di terapkan, misalnya pada bidang transportasi dan konstruksi. Peminat dari material *green composite* pun semakin meluas. Beberapa tahun terakhir pengguna energi *glass fiber-reinforced plastic* (GFRP) beralih menggunakan *green composite*. Terdapat peningkatan di semua bidang untuk dalam penggunaan *green composite*, diantaranya kinerja ekonomis dan fungsional, serta mengurangi biaya produksi, meningkatkan kinerja fungsional produk, dan dapat memproduksi produk yang ramah lingkungan [9].

Serat alam seperti kelapa, bambu, pisang, dan lain-lain dapat digunakan sebagai material penguat *green composite*. Selain memiliki densitas yang rendah, serat alam juga memiliki beberapa keuntungan lainnya seperti memiliki spesifikasi kekuatan, harga yang jauh lebih terjangkau, ketersediaannya melimpah, dan tentunya menghasilkan emisi yang lebih rendah, serta lebih mudah untuk didaur ulang. Tidak semua serat alam dapat digunakan untuk komposit, melainkan serat dan matriks yang digunakan harus bisa menahan tegangan yang tinggi akibat pendistribusian tegangan yang terjadi pada saat serat berinteraksi dengan matriks. Hal ini karena adanya pengaruh interaksi ikatan antara serat dan matriks, yaitu *void* yang merupakan daerah yang disebabkan oleh bentuk serat yang kurang sempurna atau terdapat celah pada serat yang sehingga matriks tidak dapat mengisi ruang kosong pada cetakan dengan sempurna. Hal ini lah yang dapat menyebabkan daerah tegangan beban berpindah ke bagian *void* saat komposit menerima beban sehingga akan mengurangi kekuatan komposit yang dihasilkan [10].

Kekuatan tarik dari komposit di pengaruhi oleh struktur serat. Komposit dengan komposisi serat buah pinang menunjukkan hubungan yang tegak lurus antara persentase serat dan kekuatan tarik bahan yang terbentuk. Semakin tinggi rasio serat maka semakin besar tegangan yang

dihasilkan. Hal tersebut terbukti dari penambahan komposit resin yang diperkuat dengan serat pinang yang menunjukkan tegangan kekuatan tarik komposit serat buah pinang dan resin epoksi dengan komposisi 80 : 20 % sebesar 14,04 MPa serta komposisi 90:10% sebesar 9,8 MPa [12]. Kekuatan tarik bahan komposit bisa dipengaruhi oleh jenis dan ukuran serat. Serat dengan diameter yang lebih kecil akan dapat memberikan daya tarik yang semakin besar, dikarenakan rongga yang terdapat diantara serat menjadi semakin kecil dan ikatan antar molekulnya pun lebih banyak sehingga kuat tariknya sangat tinggi. Akan tetapi, lapisan lapisan lilin (lignin) dan kotoran lain yang terkandung pada serat akan dapat menghalangi ikatan *interface* antara serat dan *substract*, menyebabkan mekanisme pemutusan rotasi yang menunjukkan ikatan yang lemah antara serat dengan *substract* [1].

Fungsi dari penambahan material lain seperti pati dan serat akan menyebabkan komposit mudah terdegradasi. Komposit akan semakin mudah terbiodegradasi apabila semakin banyak serat yang terkandung [11]. Campuran matriks epoksi, pati talas dan serat pinang sepanjang 12 mm menunjukkan modulus elastisitas sebesar 132,52 MPa, dan serat dengan panjang 9 mm menunjukkan nilai renggang dan kuat impak tertinggi yaitu sebesar 10% dan 0,0052 J/mm<sup>2</sup> dengan nilai biodegradasi rata – rata sebesar 0,098% [6]. Selain itu, komposit dengan matrik polipropilena dan serat pinang yang ditambahkan pati pisang 3% menunjukkan nilai tarik tertinggi yaitu 20,69 MPa. Sedangkan nilai modulus elastisitas tertinggi ditunjukkan oleh penambahan pati pisang 5% sebesar 489,93 MPa. Penambahan pati pisang dengan persentase 9% dan 7% memberikan nilai renggang dan kuat impak terbesar yaitu sebesar 5,5% dan 0,072 J/mm<sup>2</sup> dengan nilai degradasi terbesar 0,0028%/hari pada lama penguburan selama 30 hari dengan nilai persen massa 0,084% [11].

### 3. Metode penelitian

Pada penelitian ini diperlukan alat dan bahan sebagai berikut:

#### 3.1. Alat

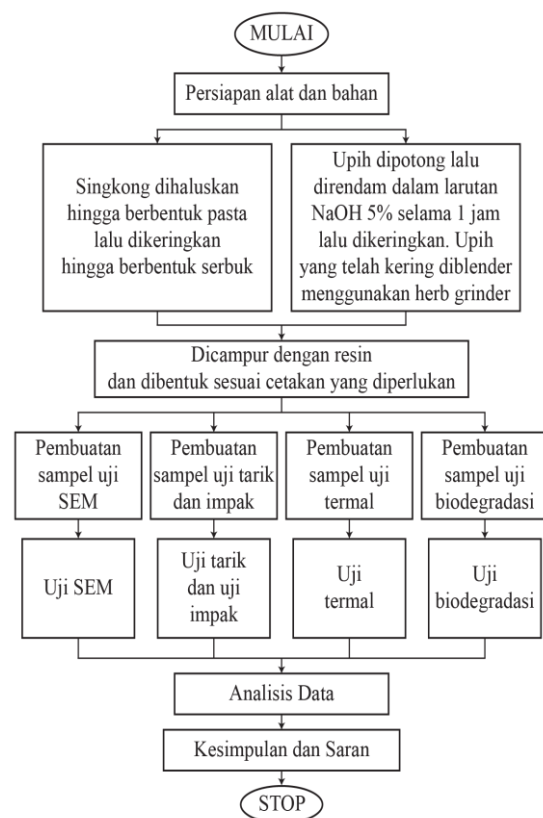
Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: alat-alat gelas, oven, herb grinder, blender, mortir, ayakan, timbangan analitik, gunting, penggaris, aluminium foil, plastic wrap, desikator, kuas, batang pengaduk, ember, alat *Scanning Elektron Microscope* (SEM), mikroskop, moisture analyzer, mesin uji tarik dan uji impak, alat pengujian DSC.

#### 3.2. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. Pelempang pinang dipilih yang paling tua digunakan sebagai matriks atau pengisi dalam pembuatan komposit.
2. Singkong berusia 6 bulan atau lebih yang dicari patinya untuk digunakan sebagai pengisi (*filler*).
3. Resin dan *hardener* sebagai pengikat koponen komposit.
4. NaOH 98% yang dibuat menjadi NaOH 5%.
5. Akuades sebagai pengenceran NaOH.
6. Vaseline sebagai *release agent* pada komposit dan cetakan
7. Tanah untuk media uji biodegradabel

### 3.3. Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

### 3.4. Metode Uji

Adapun metode pengujian dilakukan yaitu preparasi bahan, pembuatan komposit, pengujian struktur morfologi permukaan, uji tarik dan impak, uji termal dan uji biodegradabel.

#### 3.4.1. Preparasi Bahan

Pelempah pinang dicuci kemudian direndam selama ±10 hari menggunakan air hingga membusuk dan diambil seratnya. Serat dikeringkan dibawah sinar matahari (±2 hari) untuk mengurangi kadar airnya, selanjutnya direndam dengan NaOH 5% selama 1 jam dan

dikeringkan kembali selama 24 jam di udara terbuka. Serat pinang diserbukkan kemudian diayak.

Pati singkong dibuat menggunakan singkong yang telah berumur 6 bulan atau lebih yang kemudian dibersihkan dari kulitnya dan dicuci bersih dengan air. Singkong diparut secara manual hingga halus, ditambahkan air dan diremas-remas. Selanjutnya bubur singkong disaring hingga pati lolos bersama air dari saringan sebagai suspensi pati. Suspensi ini kemudian ditampung dan diendapkan selama 24 jam, suspensi pati di oven hingga diperoleh kadar air < 14%. Produk yang telah kering selanjutnya digiling dan diayak dengan ayakan mesh 80.

### 3.4.2. Pembuatan Komposit

Pembuatan komposit menggunakan metode *blend* dan *hand lay up* yaitu dibuat dari campuran serbuk pelepah pinang, pati singkong dan resin epoksi dengan katalisnya (*hardener*). Dilakukan pencampuran resin epoksi dan katalisnya (1:1) dan komposit dibuat 4 komposisi ((50:50)%v, (60:40)%v, (75:25)%v, (80:20)%v). Masing-masing komposisi akan ditambahkan dengan 0 g, 3 g, 6 g, serta 9 g pati singkong. Setiap pembuatan sampel, cetakan dilapisi dengan vaselin yang berfungsi sebagai *release agent* pada komposit dan cetakan. Komposit dimasukkan kedalam cetakan dan ditekan dengan kekuatan maksimal hingga menghasilkan ketebalan yang diinginkan ( $\pm 3$  mm). Berikut merupakan pelabelan dan komposisi dari sampel yang dibuat.

Tabel 1. Tabel pelabelan dan komposisi sampel

A0: Resin : pelepah (50 : 50)%v	B6: B0 + 6 gr pati	D0: Resin : pelepah (80 : 20)%v
A3: A0 + 3 gr pati	B9: B0 + 9 gr pati	D3: D0 + 3 gr pati
A6: A0 + 6 gr pati	C0: Resin : pelepah (75 : 25)%v	D6: D0 + 6 gr pati
A9: A0 + 9 gr pati	C3: C0 + 3 gr pati	D9: D0 + 9 gr pati
B0: Resin : pelepah (60 : 40)%v	C6: C0 + 6 gr pati	
B3: B0 + 3 gr pati	C9: C0 + 9 gr pati	

### 3.4.3. Pengujian Struktur Morfologi Permukaan

Pengujian dilakukan menggunakan alat *Scanning Elektron Microscope* (SEM) dengan pembesaran 30x, 120x, dan 700x yang kemudian di portet menggunakan film hitam putih.

### 3.4.4. Pengujian Tarik dan Impak

Uji tarik benda uji dilakukan berdasarkan standar ASTM D 638 dan untuk uji impak matrik komposit dilakukan berdasarkan standar ASTM A370.

### 3.4.5. Pengujian Termal

Uji konduktivitas termal dilakukan dengan uji *Differential Scanning Calorimeter* (DSC) agar mengetahui titik leleh dari benda uji. Sampel diuji pada rentang suhu 20°C - 400°C dengan laju pemanasan 10°C.

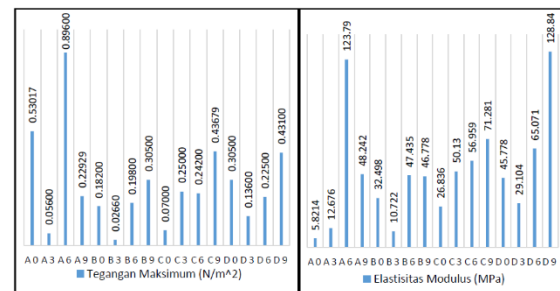
### 3.4.6. Pengujian Biodegradable

Uji dilakukan dengan menimbang sampel sebagai massa awal ( $m_0$ ). Kemudian dikubur dalam tanah dengan variasi waktu 5 hari, 15 hari, dan 30 hari. Sampel setelah dikubur lalu diambil, dikeringkan, dan ditimbang serta hitung persentase nilai pengurangan massa.

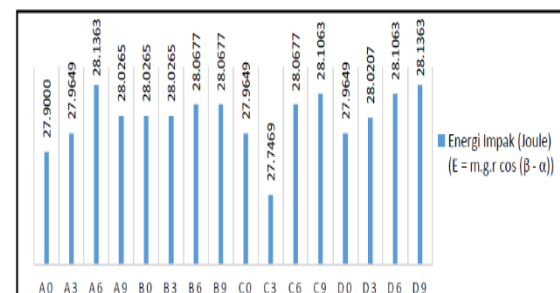
## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1. Analisa Kekuatan Tarik dan Impak

Uji tarik dilakukan untuk mengukur kekuatan tarikan dan regangan dari benda uji. Sedangkan uji impak untuk mengetahui kekuatan impak benda saat terkena benturan. Tujuan utama pengujian ini adalah untuk mengukur kekuatan tarik dan impak dari material yang dibuat.



Gambar 2. Grafik Data Sampel Hasil Uji Tarik



Gambar 3. Nilai Hasil Uji Impak (Energi Impak)

Pada gambar 2, diperoleh hasil sampel D9 memiliki elastisitas modulus tertinggi yaitu 128,84 MPa, namun nilai tegangan maksimum jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan beberapa sampel (0,431 N/m<sup>2</sup>). Pada *ultimate strength* sampel A6 memiliki nilai 0,896 N/m<sup>2</sup> tertinggi diantara seluruh sampel dan nilai tegangan sebesar 123,79 MPa. Sedangkan sampel yang memiliki nilai *ultimate strength* terkecil yaitu sampel B3 sebesar 0,0266 N/m<sup>2</sup> dengan nilai tegangan sebesar 10,722 MPa. Dari hasil

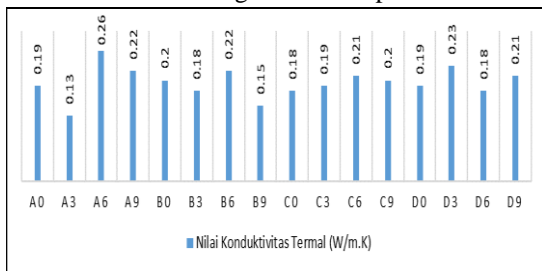


tersebut, hasil dari tinggi atau rendahnya suatu elastisitas modulus dan tegangan maksimum akan <sup>id</sup>mempengaruhi <sup>void</sup>kekuatan ikatan dari setiap komponen di dalam komposit. Jika nilai yang diperoleh tinggi maka ikatan yang terjadi semakin kuat, lemahnya ikatan dapat disebabkan oleh tidak ratanya pencampuran matriks dengan bahan pengisi.

Kemudian pada gambar 3, sampel yang memerlukan energi dampak terbesar adalah sampel A6 dan D9 yang mana sama-sama memerlukan energi sebesar 28,1363 Joule dan terendah pada sampel C3 dengan memerlukan energi sebesar 27,7469 Joule. Perbedaan energi dampak tersebut dapat disebabkan rongga dan celah pada komposisi, dimana semakin banyak rongga akan memperbesar kemungkinan terjadinya getas atau patah mendadak.

#### 4.2. Analisis Konduktivitas Termal

Analisis termal merupakan analisis yang dilakuka untuk mengukur perubahan sifat-sifat fisik bahan terhadap perubahan suhu. Konsuktivitas termal merupakan besaran yang menyatakan kemampuan material dalam menghantarkan panas.

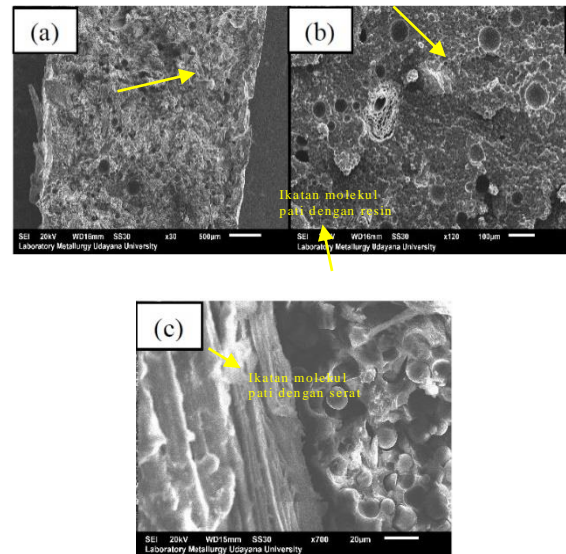


Gambar 4. Grafik Nilai Konduktivitas Termal Komposit

Nilai konduktivitas termal yang diperoleh sebanding dengan kemampuan menghantarkan panas dari material uji. Nilai konduktivitas termal yang semakin besar akan menunjukkan kemampuan material yang semakin besar dalam menghantarkan panas [13]. Berdasarkan data pada gambar 4 diperoleh bahwa sampel A6 memiliki nilai konduktivitas yang lebih besar daripada sampel lainnya yaitu sebesar 0,26 W/mK. Nilai konduktivitas ini menunjukkan bahwa sampel A6 memiliki penghantaran panas yang lebih baik dibanding sampel lainnya.

#### 4.3. Analisis Struktur Morfologi Permukaan

Pengujian dengan alat SEM yang bertujuan untuk melihat ikatan atau interaksi yang terjadi antara sampel komposit.

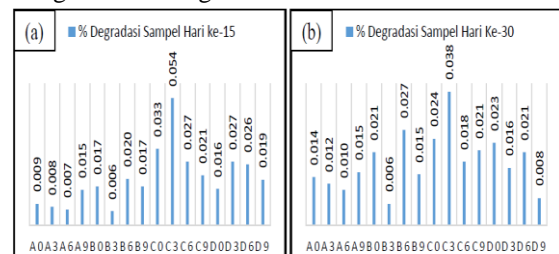


Gambar 5. Struktur Morfologi Permukaan (a) sampel B0 pada perbesaran 30x, (b) sampel D9 pada perbesaran 120x, (c) sampel A6 pada perbesaran 700x

Berdasarkan hasil pengamatan, pada gambar (a) dan (b) masih terdapat ruang kosong (*void*) yang menandakan terdapat gelembung udara didalam komposit. Selain itu, terdapatnya *void* mengartikan bahwa tidak terikatnya *filler* dengan matriks sehingga saat komposit menerima beban, daerah tegangan akan pindah kedalam area *void* dan akan menyebabkan melemahnya kekuatan komposit [12]. Sedangkan pada gambar (c) menunjukkan adanya ikatan antara molekul pati singkong, serat pelepah pinang dengan resin.

#### 4.4. Analisis Biodegradabel Komposit

Uji biodegradabel dilakukan untuk mengetahui laju penguraian komposit oleh mikroorganisme yang terdapat di dalam tanah. Penambahan pati singkong akan meningkatkan proses degradasi komposit dalam tanah karena interaksi antara pati dengan mikroorganisme alami didalam tanah



Gambar 6. Nilai degradasi komposit hari ke-15 (a) dan hari ke-30 (b)

Berdasarkan gambar 6, penambahan pati singkong menunjukkan perubahan yang cukup signifikan dari beberapa sampel yang

berisi pati singkong. Namun perubahan tersebut tidak merata pada beberapa komposisi. Kondisi ini dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti perbedaan massa awal tiap sampel, kelembaban serta banyaknya mikroba pengurai di dalam [6]. Nilai rata-rata dari biodegradasi sampel setelah 30 hari penguburan yaitu sebesar 0,018%.

## 5. Kesimpulan

Pada penelitian ini hasil yang diperoleh masih belum optimum akan tetapi terdapat beberapa sampel yang berpotensi. Berdasarkan hasil uji tarik diperoleh elastisitas modulus tertinggi pada sampel D9 sebesar 128,84 MPa dan tegangan maksimum pada sampel A6 sebesar 0,896 N/m<sup>2</sup>. Uji dampak yang memerlukan energi dampak terbesar terdapat pada sampel A6 dan D9 dengan energi yang diperlukan sebesar 28,1363 Joule. Perbedaan kekuatan ini dapat disebabkan karena terdapatnya *void* atau gelembung udara. Hal ini juga ditunjukkan oleh hasil pengujian struktur morfologi permukaan yang memperlihatkan bahwa masih terdapat gelembung udara di dalam komposit sehingga kekuatan komposit masih belum maksimal dan terdapat ikatan antar material yang tidak merata pada beberapa sampel. Berdasarkan pengujian termal diketahui bahwa sampel A6 memiliki penghantaran panas yang lebih baik dari sampel lainnya dengan nilai konduktivitas termal sebesar 0,26 W/mK. Pada pengujian biodegradable membuktikan bahwa sampel yang berisi campuran pati singkong menunjukkan perubahan yang cukup signifikan dengan rata-rata nilai degradasi sampel setelah 30 hari penguburan sebesar 0,018%. Untuk itu diperlukan pengembangan lebih lanjut dan juga perhatian lebih terhadap metode dan proses pencampuran dari setiap komponen sehingga didapatkan hasil yang maksimum

## Daftar Pustaka

- [1] Muhajir M., Mizar M.A., Sudjimat D. A., 2016, *Analisis Kekuatan Tarik Bahan Komposit Matriks Resin Berpenguat Serat Alam Dengan Berbagai Varian Tata Letak*, Jurnal Teknik Mesin. 2: 1-8.
- [2] Pujiati R., 2017, *Analisa teknis bahan komposit dari serat alami ampas tebu untuk bahan alternatif pembuatan kulit kapal*, Skripsi. Institut Teknologi Sepuluh November: Surabaya.
- [3] Palan A., Pappang R., Salam L., dan Salu S., 2018, *Analisis Kekuatan Tarik Komposit Serat Pelepah Pinang (Areca catechu)*, Prosiding Seminar Nasional 2018 Sinergitas Multidisiplin Ilmu Pengetahuan dan Teknologi. 9-10 April 2018. pp. 208-214.
- [4] Rozi M. F. dan Mahyudin, A., 2020, *Analisis Variasi Fraksi Volume Nanoserat Pinang Terhadap Sifat Mekanik dan Uji Biodegradasi Material Komposit Epoksi dengan Pati Talas*, Jurnal Fisika Unand (JFU). 9(2): 270-276.
- [5] Binoj J.S., Raj R.E., Sreenivasan V.S., dan Thusnavis G.R., 2016. *Morphological, Physical, Mechanical, Chemical and Thermal Characterization of Sustainable Indian Areca Fruit Husk Fibers (Areca catechu L.) as Potential Alternate for Hazardous Synthetic Fibers*. Journal of Bionic Engineering. 13(1): 156-165.
- [6] Dynanty S.D.P., Mahyudin A., 2018, *Pengaruh Panjang Serat Pinang Terhadap Sifat Mekanik dan Uji Biodegradasi Material Komposit Matriks Epoksi dengan Penambahan Pati Talas*, Jurnal Fisika Unand. 7(3): 233-239.
- [7] Ariany S.P., Purwanto Y.A., Budijanto S., Khumaida N., 2018, *Karakteristik Fisikokimia Tepung dari 20 Genotipe Baru Ubi Kayu*. Jurnal Pangan. 26(3).
- [8] Schwartz M.M., 1984, *Material Komposit Handbook*, McGraw-Hill: New York, Amerika Serikat.
- [9] Georgios K., Silva A., Furtado S., 2016, *Applications Of Green composite Materials*, Biodegradable Green Composites. 1: 312-337.
- [10] Fahmi H., Hadi S., Kapur F. M., 2016, *Analisis Kekuatan Komposit Resin diperkuat Serat Pinang*. Jurnal Teknik Mesin Institut Teknologi Padang. 6(2): 86-91.
- [11] Artika M.P., Mahyudin A., 2019, *Pengaruh Persentase Serat Pinang terhadap Sifat Mekanik dan*

**Biodegradabilitas Komposit Polipropilena dengan Penambahan Pati Pisang**, Jurnal Fisika Unand. 8(2): 158-163.

- [12] Laksono A.D., Ernawati L., dan Maryanti D., 2019, **Pengaruh Serah Alam dari Limbah Kayu Bangkirai Terhadap Modulus Elastisitas Material Komposit**, Seminar Nasional Teknik Industri Universitas Gadjah Mada 2019. Universitas Gadjah Mada: Yogyakarta.
- [13] Kreith F., 2010, **Principle of Heat Transfer**. CL Engeenaring: New York, Amerika Serikat.

	Ni Made Marlinawati merupakan mahasiswa S1 program studi farmasi di Universitas Udayana pada tahun 2018 dan saat ini masih menempa ilmu di semester 7 dengan peminatan bidang farmasi klinis.
	I Putu Yudi Oktavian merupakan mahasiswa S1 program studi farmasi di Universitas Udayana pada tahun 2018 dan saat ini masih menempa ilmu di semester 7 dengan peminatan bidang farmasi analisis.
	Ni Luh Gede Lisdiantari merupakan mahasiswa S1 program studi kimia di Universitas Udayana pada tahun 2019 dan saat ini masih menempa ilmu di semester 5.
	I Gede Nengah Wika Gunawan merupakan mahasiswa S1 program studi teknik mesin di Universitas Udayana pada tahun 2019 dan saat ini masih menempa ilmu di semester 5.

# Analisa Morfologi, Serap Bunyi dan Kekuatan Tarik Biokomposit Getah Pinus dan Serbuk Kayu Jati dengan Perlakuan NaOH

Hafidz Ikromuddin, NPG Suardana dan CIPK Kencanawati  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

Kebutuhan akan material yang bagus menuntut para ilmuwan memanfaatkan limbah material alam maupun buatan untuk diolah menjadi hal yang lebih bermanfaat lagi. Variasi perlakuan NaOH yaitu tanpa perendaman, 5%, 10% dan 15% NaOH. Besar presentase perpaduan menggunakan fraksi volume dengan serbuk kayu jati sebesar 65% dan matriks getah pinus sebesar 35%. Ukuran serbuk kayu jati yang digunakan adalah 8 mesh  $\leq a \leq 7$  mesh. Pengujian serap bunyi menggunakan Tabung Impedansi Dua Microphone dengan standar ISO 10534-2 : 1998 dan ASTM E : 1050 : 1998. Uji tarik dilakukan dengan alat dengan standar ASTM D 638-03. Hasil dari pengujian didapatkan kekuatan serap bunyi tertinggi terdapat pada spesimen konsentrasi 5% NaOH dengan nilai 0,69 di frekuensi 300 Hz. Nilai tekanan maksimum dan juga regangan tertinggi terdapat pada konsentrasi 5% NaOH sebesar 4,28 MPa dan 5,00 %.

Kata kunci : Perlakuan NaOH, Serbuk Kayu Jati, Getah Pinus, Biokomposit

## Abstract

The need for good materials requires scientists to use natural and artificial material waste to be processed into more useful things. Variations in NaOH treatment are without immersion, 5%, 10% and 15% NaOH. Large percentage of fusion uses volume fraction with teak powder by 65% and pine resin matrix by 35%. The size of teak wood powder used is 8 mesh  $\leq a \leq 7$  mesh. Noise absorption testing using two microphone impedance tubes with ISO 10534-2: 1998 and ASTM E:1050:1998 standards. The tensile test is performed with a tool with astm standard D 638-03. The results of the test obtained the highest sound absorption strength in specimen concentrations of 5% NaOH with a value of 0.69 at a frequency of 300 Hz. The maximum pressure value and also the highest strain are at the concentration of 5% NaOH of 4.28 MPa and 5.00%

Keywords : NaOH, Teak Wood Powder, Pine Resin, Biocomposite

## 1. Pendahuluan

Kebutuhan akan material yang bagus menuntut para ilmuwan untuk selalu berinovasi. Material komposit menjadi salah satu alternatif untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Komposit tersusun dari dua atau lebih bahan dasar yang disusun secara makroskopis. Tujuan dari pembuatan komposit yaitu untuk meningkatkan sifat mekanis, stabilitas dimensional dan pengembangan fleksibilitas desain, mengurangi berat dan *cost* produksi dan lain sebagainya. Sebenarnya komposit telah dikenal sejak dulu, namun pada tahun 1960-an dunia industri baru memberikan perhatian terhadap komposit.

Penelitian ini memadukan serbuk kayu jati dan getah pinus *Merkusii Jungh. Et DeVries* yang tumbuh di hutan KPH Bali Timur. Produksi total kayu gergajian Indonesia mencapai 2,6 juta m<sup>3</sup> per tahun (Forestry Statistics of Indonesia 1997/1998). Dengan asumsi bahwa jumlah limbah yang terbentuk 54,24 persen dari produksi total.[1] Menurut Pinus *merkusii* merupakan satu-satunya jenis pinus yang tumbuh asli di Indonesia.[2]

Material biokomposit dilakukan pengujian serap bunyi menggunakan alat tabung impedansi dua mikrofon (ASTM E 1050 : 1998) dan uji tarik (ASTM D-638) serta uji SEM (*Scanning Electron Microscopy*). Pengujian serap bunyi bertujuan mengetahui seberapa bagus material dalam meredam

bunyi. Uji tarik untuk mengetahui kekuatan material ketika diberikan gaya atau beban dan Uji SEM berfungsi untuk melihat struktur mikro dari biokomposit.

Berikut permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian ini, yaitu :

1. Bagaimana pengaruh perlakuan NaOH pada serbuk kayu jati dengan matriks getah pinus terhadap pengujian serap bunyi ?
2. Bagaimana pengaruh perlakuan NaOH pada serbuk kayu jati dengan matriks getah pinus terhadap pengujian tarik ?
3. Bagaimana struktur morfologi serbuk kayu jati dengan perlakuan NaOH dan matriks getah pinus ?

Beberapa batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Getah pinus yang digunakan adalah getah pinus jenis *Pinus merkusii jungh, et DeVries* yang terdapat di hutan KPH Bali Timur dengan asumsi umur yang sama.
2. Serbuk kayu jati yang digunakan adalah serbuk sisa gergaji kayu jati yang diperoleh dari meubel yang diasumsikan memiliki umur pohon dan tempat tumbuh pohon yang sama.
3. Konsentrasi NaOH yang digunakan dalam penelitian ini adalah 5%, 10% dan 15%.

4. Perpaduan spesimen menggunakan fraksi volume dengan 65% getah pinus dan 35% serbuk kayu jati.
5. Pembuatan biokomposit menggunakan metode *hand lay up*.
6. Ukuran serbuk kayu jati yang digunakan merupakan serbuk yang diayak menggunakan ayakan 8 mesh  $\leq a \leq 7$  mesh.
7. Kandungan terpentin yang menguap diabaikan.

## 2. Dasar Teori

Pada umumnya pembuatan komposit berguna untuk memenuhi kebutuhan akan material. Komposit didesain sedemikian rupa sehingga sesuai dengan karakteristik material yang diinginkan. Sifat dasar penguat lebih *ductile* tetapi lebih *rigid* serta lebih kuat sedangkan matriks bersifat lebih *ductile* namun rigiditas lebih rendah.

Biokomposit menjadi solusi pemanfaatan limbah bahan alam yang sebelumnya kurang berguna. Susunan dari biokomposit adalah serat tumbuhan (biofiber) dan biopolymer yang bersifat ramah lingkungan dan lebih dikenal dengan “*green composite*”. [3]

Pinus merkusii merupakan jenis pohon serbaguna. Hampir semua bagian pohon dapat dimanfaatkan, antara lain bagian batangnya disadap untuk diambil getahnya. Kemudian getah diproses menghasilkan gondorukem dan terpentin. Gondorukem merupakan bahan membuat sabun, resin dan cat. Terpentin digunakan untuk parfum, obat-obatan dan disinfektan.

Industri perkerajinan di Indonesia diperkirakan per tahun membutuhkan sebesar 70 juta m<sup>3</sup> dengan rata-rata kenaikan sebesar 14,2% per tahun, dengan demikian terjadi defisit sebesar 45 juta m<sup>3</sup>. [4]

Komposisi limbah pada kegiatan pemanenan dan industri pengolahan kayu adalah sebagai berikut : [5]

1. Umumnya limbah kayu berbentuk bulat mencapai 66,16%
2. Limbah industri penggergajian kayu meliputi serbuk kayu gergaji sebesar 10,6%. Potongan 14,3% dan sebetan 25,9% dengan total limbah sebesar 50,8% dari jumlah bahan baku yang digubahkan.
3. Limbah industri kayu lapis meliputi limbah potongan 5,6%, serbuk gergaji 0,7%, sampah vinir basah 24,8%, sampah vinir kering 12,6% sisa kupasan 11,0% dan potongan tepi kayu lapis 6,3%. Sehingga total limbah kayu lapis sebesar 61,0% dari jumlah bahan baku yang digunakan.

Pengujian serap bunyi bertujuan mengukur seberapa bagus material dalam meredam pembebanan suara yang diberikan. Alat uji serap bunyi dengan ASTM E : 1050 : 1998 dengan tabung impedansi 2 *microphone* ISO 10534-2 : 1998 yang disambungkan menggunakan software akustik

(*Audacity and Pitcher*). Uji serap dapat ditentukan dengan persamaan :

$$\alpha = \frac{[W_a]}{[W_i]} \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{[W_i - W_b]}{[W_i]} \quad (2)$$

Dimana :

$\alpha$  : Koefisien Absorpsi Bunyi

$W_a$  : Intensitas bunyi yang diredam (dB)

$W_b$  : Intensitas bunyi yang dipantulkan (dB)

$W_i$  : Intensitas bunyi yang datang pada permukaan bahan (dB)

Material bisa dikatakan sebagai penyerap bunyi ketika koefisien lebih dari 0,2 dan dikatakan material pemantul bunyi ketika koefisiennya kurang dari 0,2. [6]

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui seberapa kuat material ketika diberikan beban. Ada 2 poin penting yang akan kita dapat dalam pengujian tarik yaitu, nilai tegangan dan regangan. Untuk menghitung nilai tegangannya kita bisa menggunakan rumus sebagai berikut : [7]

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (3)$$

Dimana :

P = Beban (N)

A = Luas Penampang (mm<sup>2</sup>)

$\sigma$  = Tegangan (MPa)

sedangkan untuk menghitung regangannya menggunakan rumus :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (4)$$

Dimana :

$\varepsilon$  = Regangan (mm/mm)

$\Delta L$  = Pertambahan panjang (mm)

$L_0$  = Panjang daerah ukur/*gauge length* (mm)

Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui struktur mikro dari material. Hal ini berpengaruh terhadap kekuatan tarik maupun kekuatan serap bunyi suatu material. SEM sendiri merupakan kependekan dari *Scanning Electron Microscope*. Dengan adanya pengujian SEM ini juga bisa mengetahui ikatan yang terjadi antara matriks dengan penguat.

## 3. Metode Penelitian

Dalam pembentukan biokomposit serbuk kayu jati dan getah pinus dibutuhkan alat dan bahan sebagai berikut :

o Alat

1. Alat cetak: rangkaian kayu yang membentuk spesimen uji tarik dan plat besi yang dibentuk lingkaran dengan diameter 10 cm dilapisi aluminium foil.
2. Alat ukur : timbangan digital, gelas ukur, stopwatch, dan thermometer.
3. Alat K3 : masker dan sarung tangan karet
4. Alat pembersih : tisu dan kain lap
5. Pengayakan menggunakan ayakan 8 mesh  $\leq a \leq 7$  mesh
6. Oven sebagai pengering
7. Piknometer ukuran 50 ml

8. *Magnetic Stirrer*
9. *Aluminium Foil*
10. Alat bantu : wadah dan pengaduk
11. Alat uji : alat Uji Serap Bunyi, alat Uji Tarik dan alat Uji SEM

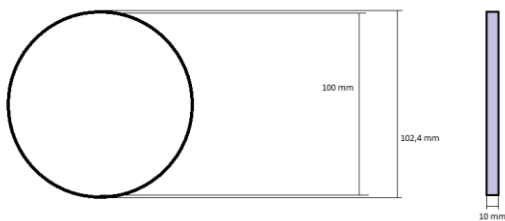
o Bahan

1. Getah pinus sebagai matriks
2. Serbuk kayu jati sebagai penguat
3. Larutan alkali (NaOH) digunakan untuk menghilangkan lignin dan zat pengotor yang terkandung dalam serbuk kayu jati
4. Aquades sebagai pelarut Alkali

Serbuk kayu jati yang telah melalui proses pengayakan selanjutnya direndam pada larutan Alkali selama 2 jam. Kemudian dibilas hingga bersih menggunakan air bersih dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 70°C selama 2 jam. Pengeringan dilakukan berulang hingga berat serbuk sudah konstan.

Proses penyadapan getah pinus dilakukan di Kawasan hutan KPH Bali Timur Provinsi Bali.[8] Getah dipanaskan menggunakan *magnetic stirrer* hingga suhu 170°C dari warna getah awalnya putih pekat mejadi putih bening.

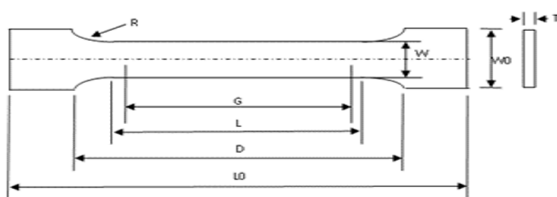
Getah pinus yang telah dipanaskan dimasukkan ke dalam wadah dan dicampurkan dengan serbuk kayu jati. Fraksi volume yang digunakan 65% getah pinus dan 35% serbuk kayu jati. Setelah pencampuran getah pinus dan serbuk kayu jati merata tuangkan ke dalam cetakan spesimen. Padatkan hingga terdistribusi merata mengisi seluruh bagian cetakan. Kemudian keringkan kurang lebih selama 24 jam dan spesimen siap untuk diujikan.



**Gambar 1** spesimen uji serap bunyi

Keterangan gambar :

- Tinggi (t) = 10 mm = 1 cm  
 Diameter (d) = 100 mm = 10 cm



**Gambar 2** Dimensi alat pengujian tarik

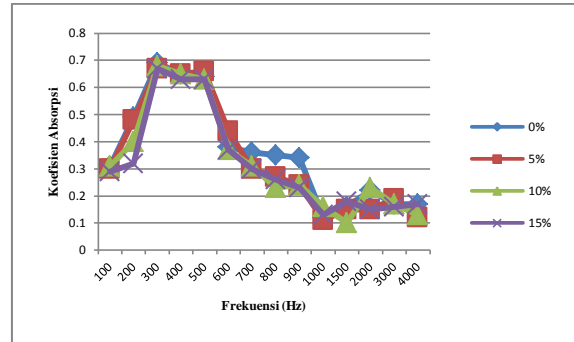
Keterangan gambar :

- Panjang (L0) = 145 mm  
 Lebar (W0) = 17 mm  
 Panjang (L) = 75 mm

- Lebar (W) = 6 mm  
 Radius Fillet (R) = 14 mm  
 Ketebalan (T) = 4 mm  
 Panjang Penukur (G) = 60 mm

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1. Uji Serap Bunyi

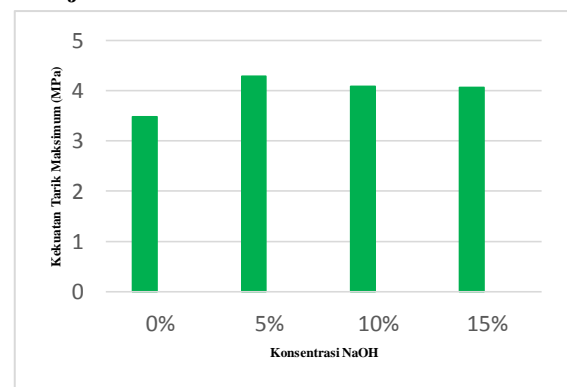


**Gambar 3** Hubungan antara frekuensi terhadap koefisien absorpsi

Gambar 3 menunjukkan grafik data koefisien absorpsi spesimen biokomposit pada setiap frekuensi yang diberikan. Dari grafik di atas dapat diambil beberapa kesimpulan seperti :

1. Nilai koefisien absorpsi tertinggi dari setiap spesimen diperoleh pada frekuensi 300 Hz.
2. Koefisien tertinggi terdapat pada spesimen tanpa perlakuan NaOH yaitu sebesar 0,69. Hal ini dikarenakan masih banyaknya kandungan lignin, hemiselulosa dan zat pengotor sehingga ikatan dengan matriks mengalami penghambatan. Oleh karena itu timbul rongga yang bisa meredam suara lebih baik.
3. Nilai koefisien terendah terdapat spesimen dengan perlakuan NaOH 10% sebesar 0,10.

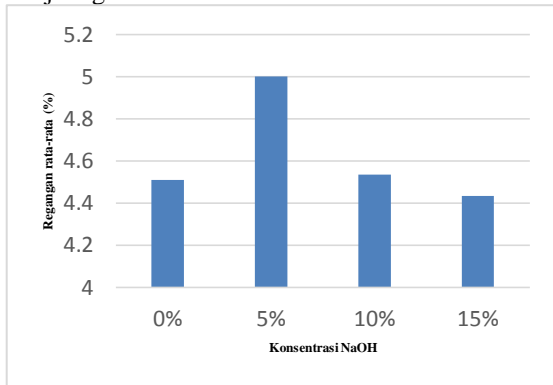
### 4.2. Uji Tarik



**Gambar 4** Hubungan antara konsentrasi NaOH terhadap kekuatan Tarik maksimum

Dari grafik di atas terlihat bahwa kekuatan tarik maksimum terjadi pada spesimen dengan konsentrasi NaOH 5 %. Pada spesimen tanpa perlakuan NaOH memiliki nilai kekuatan Tarik maksimum terendah dibandingkan dengan yang menggunakan perlakuan. Hal ini dikarenakan

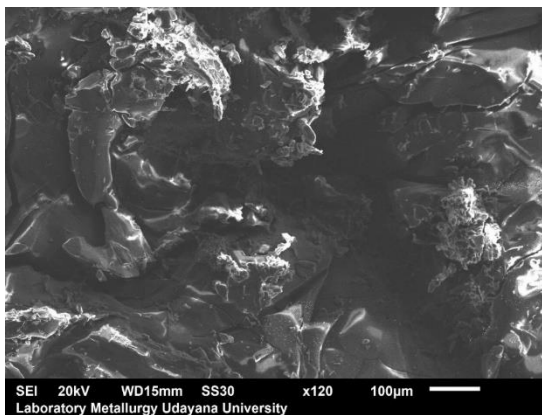
terdapat kandungan lignin, hemiselulosa, dan zat pengotor lain yang menempel pada serbuk kayu jati. Sehingga ikatan antara matriks dengan serbuk kurang sempurna. Proses perlakuan konsentrasi NaOH terbaik terjadi pada konsentrasi 5%, hal ini bisa terlihat dari hasil pengujian yang menunjukkan nilai yang paling tinggi dibandingkan dengan yang lainnya. Namun pada konsentrasi 10% dan 15% menunjukkan grafik semakin menurun hal ini dikarenakan pada konsentrasi tersebut serbuk kayu jati mengalami kerusakan sehingga spesimen menjadi getas.



**Gambar 5 Hubungan antara konsentrasi NaOH terhadap regangan rata-rata**

Berdasarkan grafik di atas, dapat dilihat bahwa nilai regangan rata-rata tertinggi pada konsentrasi NaOH 5%. Sedangkan pada konsentrasi 10% dan 15% terus mengalami penurunan. Hal ini membuktikan bahwa semakin tinggi konsentrasi perlakuan NaOH yang diberikan menyebabkan kerusakan morfologi yang berakibat pada spesimen menjadi lebih getas.

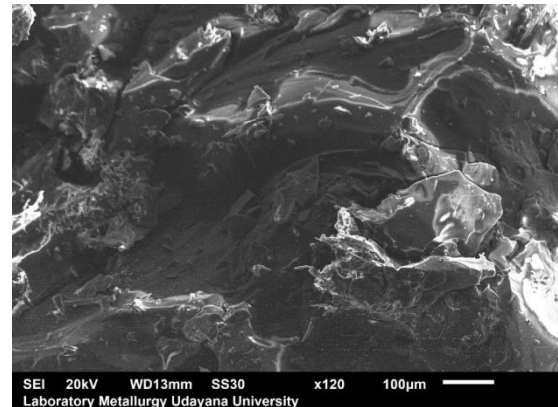
#### 4.3. Uji SEM



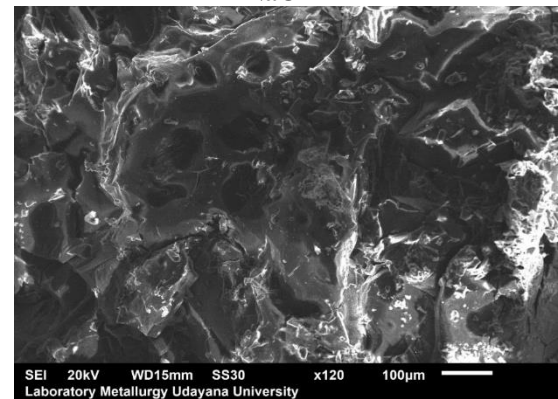
**Gambar 6 Permukaan Spesimen Uji SEM 0% NaOH**

Dari gambar-gambar hasil pengamatan SEM di atas dapat dilihat bahwa morfologi serbuk terbaik pada Gambar 7 dengan konsentrasi NaOH 5%. Hal ini dikarenakan kandungan lignin, hemiselulosa dan zat pengotor pada serbuk berkurang dengan baik, sehingga antara serbuk kayu jati dengan matriks mengalami ikatan yang lebih baik dibandingkan dengan pengamatan Gambar 6. Pada spesimen

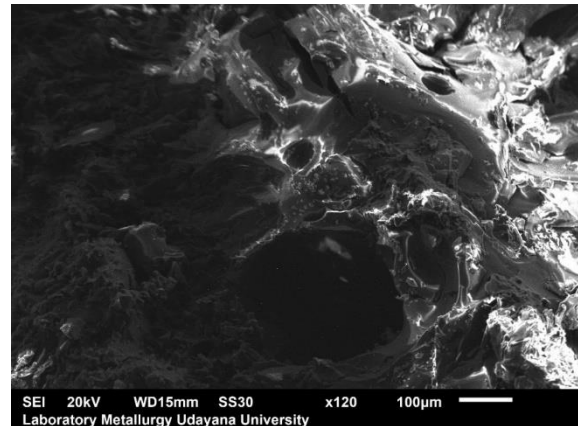
dengan konsentrasi 0% NaOH serbuk tidak bisa berikatan dengan baik karena masih banyaknya kandungan lignin, hemiselulosa dan zat pengotor pada serbuk.



**Gambar 7 Permukaan Spesimen Uji SEM 5% NaOH**



**Gambar 8 Permukaan Spesimen Uji SEM 10% NaOH**



**Gambar 9 Permukaan Spesimen Uji SEM 15% NaOH**

Berbeda hal dengan konsentrasi NaOH 5%, pada konsentrasi 10% kandungan lignin, hemiselulosa dan zat pengotornya sudah bersih namun karena tingginya persentase serbuk mulai mengalami kerusakan. Hal ini terlihat dari ukuran serbuk pada konsentrasi 10% yang lebih kecil dibandingkan dengan konsentrasi 5% NaOH. Demikian juga pada konsentrasi 15% yang juga makin mengalami kerusakan karena semakin tingginya konsentrasi NaOH yang diberikan.

## 5. Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini, yaitu :

1. Nilai koefisien absorpsi tertinggi terdapat pada spesimen tanpa perlakuan NaOH yaitu sebesar 0,69 pada frekuensi 300 Hz.
2. Data hasil pengujian tarik spesimen biokomposit getah pinus dengan kayu jati menunjukkan bahwa rata-rata kekuatan tarik maksimum terdapat pada spesimen dengan konsentrasi NaOH 5% sebesar 4,28 MPa. Sedangkan hubungan konsentrasi NaOH terhadap regangan rata-rata menunjukkan bahwa nilai regangan tertinggi pada konsentrasi 5% NaOH sebesar 5%.
3. Melihat hasil dari pengujian tarik konsentrasi NaOH yang terbaik adalah pada konsentrasi 5%. Hal ini sesuai dengan hasil pengujian SEM yang menunjukkan struktur yang paling ideal dibandingkan dengan konsentrasi yang lain. Hal ini dikarenakan kandungan lignin, hemiselulosa dan zat pengotor pada serbuk berkurang dengan baik.

*Uji Tabung Impedansi 2 Microphone.* Jurnal Energi dan Manufaktur, 9(1), 105-108.

- [7] Surdia, Tata, Saito, Shinroku, 1999, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Pradnya Paramitha, Jakarta.
- [8] Perhutani, 2011. *Uji Sadapan Getah Pinus Di Wilayah Kerja KPH Bali Timur Dinas Kehutanan Provinsi Bali*, Banyuwangi: Perhutani.



Hafidz Ikromuddin menyelesaikan studi program sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2014 sampai 2021. Ia menyelesaikan studi program sarjana dengan topik penelitian Biokomposit Getah pinus dan Serbuk Kayu Jati. Area penelitian yang diminati adalah pengaruh perlakuan alkali pada serbuk kayu jati.

## Daftar Pustaka

- [1] Martawijaya A., P. Sutigno, 1990, January 22. *Increasing the efficiency and productivity of wood processing through the minimization and utilization of wood residues*. Seminar on Wood Technology, Jakarta. (in Indonesian).
- [2] Samosir A dkk, 2015, **Produktivitas Getah Pinus (*Pinus Merkusii Jungh Et De Vriese*) Berdasarkan Ketinggian Tempat dan Konsentrasi Stimulansia Asam Cuka ( $C_2H_4O_2$ )**, Program Studi Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- [3] Mohanty A. K et.al, 2005, *Natural Fibers, Biopolymers and Biocomposites*. CRC Press.
- [4] Priyono, 2001, **Potensi Pemanfaatan Limbah Kayu Sebagai Bahan Baku Papan Partikel**.
- [5] Purwanto D., Samet, Mahfuz dan Sakiman, 1994, *Pemanfaatan Limbah Industri Kayu Lapis Untuk Papan Partikel Buatan Secara Laminasi*, DIP Proyek Penelitian dan Pengembangan Industri, Departemen Perindustrian, Banjar Baru.
- [6] Kencanawati, C.I.P.K., Sugita, I.K.G., & Priambadi I.G N, 2016, *Analisis Koefisien Absorpsi Bunyi Pada Komposit Penguat Serat Alam Dengan Menggunakan Alat*



# Studi Eksperimental Karakteristik Sifat Mampu Basah Material Karbon Aktif Bambu Betung Sebagai Material Pad Sistem *Direct Evaporative Cooling*

Roy Kinalsalsal Ginting, Hendra Wijaksana dan Ketut Astawa  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

---

## Abstrak

Sistem pendingin berbasis air conditioning merupakan salah satu penyumbang pemanasan global terbesar. Dimana sistem ini membutuhkan energi yang besar dan membutuhkan freon (R-22) sebagai *refrigerant* yang merupakan salah satu penyebab kerusakan terhadap lapisan ozon. Berdasarkan hal tersebut, dibutuhkan sistem pendingin yang hemat energi dan ramah terhadap lingkungan. Salah satunya adalah sistem *direct evaporatif cooling*. Dimana pada sistem ini hanya membutuhkan dua energi alam sebagai penggerakannya, yaitu udara dan air. Sistem ini memanfaatkan proses penguapan air pada permukaan material pad yang akan memberikan efek pendinginan pada udara supply (udara yang akan didinginkan/udara luar). Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis sifat mampu basah dari karbon aktif bambu betung sebagai material pad *sistem direct evaporatif cooling*. Temperatur karbonisasi yang akan digunakan 500° C, 600°C, 700°C, dan 800°C. Temperatur aktivasi ditetapkan 600°C dengan *holding time* 60 menit. Dari penelitian ini didapatkan hasil spesimen ACRB 500 HT60 memiliki sifat mampu basah tertinggi dengan sudut kontak 20,195° dan ACRB 600 HT60 memiliki sifat mampu basah terendah dengan sudut kontak 30,972°

*Kata Kunci: Karbonisasi, Aktivas, Bambu Betung, Material, Sifat Mampu Basah, Wettability, Sudut Kontak.*

## Abstract

*Cooling system Air Conditioning (AC) Compressor-based is one of the biggest contributors to global warming at this time. Where this system requires a large amount of energi in its use and requires freon (R-22) as refrigerant which is one of the causes of damage to the ozone layer. Based on this, a cooling system that is energi efficient and friendly to the environment is needed. One of them is the system direct evaporative cooling. Where in this system only requires two natural energies as the driving force, namely air and water. This system utilizes the process of evaporation of water on the surface of the pad material which will provide a cooling effect on the supply air (air to be cooled/outside air). This research was conducted to analyze the wettability of bamboo betung activated carbon as a material for direct evaporative cooling system. The carbonization temperatures to be used are 500°C, 600°C, 700°C, and 800°C. The activation temperature used is 600° C with a holding time of 60 minutes. From this study, the results of specimens ACRB 500 HT60 has the highest wet formability with contact angle 20,195° and ACRB 600 HT60 has properties capable lowest wet withcontact angle 30.972°*

*Keywords: Carbonization, Activation, Bamboo Betung, Materials, Wettability, Contact Angle.*

---

## 1. Pendahuluan

Meluasnya penggunaan sistim *air conditioning* (AC) yang berbasis kompresor memberikan dampak besar terhadap krisis energi berbasis bahan bakar fosil. Hal ini disebabkan oleh sistim AC yang diperkirakan mengkonsumsi energi listrik hampir 60% dari total energi listrik yang tersedia pada bangunan-bangunan besar, yang pertumbuhannya juga sangat pesat karena adanya penambahan penduduk dunia [1].

Disamping itu, penggunaan *refrigerant* pada sistim AC memberikan dampak buruk pada lingkungan, yang ditandai dengan meningkatnya pemanasan global. Sebagai salah satu solusi untuk mengurangi dampak krisis energi dan lingkungan dari penggunaan sistim AC tersebut, maka diperlukan sistim pendingin yang hemat energi dan ramah terhadap lingkungan. Salah satu dari sistim pendingin alternative tersebut adalah sistim pendinginan evaporative. Sehubungan dengan hal

tersebut diatas, saat ini banyak dikembangkan sistim pendingin yang lebih hemat energi dan ramah lingkungan. Salah satu sistim hemat energi tersebut adalah sistim pendingin evaporative, yang hanya membutuhkan air dan udara sebagai energi penggerak sistim.

Sistim *direct evaporative cooling* merupakan salah satu sistim pendingin evaporative yang memanfaatkan panas laten penguapan untuk memberikan efek pendinginan. Pada sistim ini, panas sensible yang ditransfer oleh udara luar, akan diterima sebagai panas laten oleh lapisan air yang ada pada permukaan *cooling pad*, yakni digunakan untuk proses penguapan air pada permukaan *cooling pad* dan akan memberikan efek pendinginan pada udara supply (udara yang akan didinginkan/udara luar).

Beberapa peneliti telah mempelajari sistim *direct evaporative cooling* dengan penggunaan beragam material pad diantaranya serabut kelapa, *pumice*

stones, coir fibre, fine fabric, polyvinyl chloride dan lain lain, semua material tersebut diatas baik yang alami maupun sintesis adalah material berpori (*porous material*), yang memiliki kemampuan serap dan tampung air yang cukup, sehingga proses evaporasi dapat berlangsung pada permukaan basah material tersebut.

Namun, belum banyak laporan penelitian yang secara spesifik mempelajari karakteristik sifat mampu basah pada material karbon aktif betung bamboo sebagai material pad sistim *direct evaporative cooling*. Dimana sifat mampu basah sangat diperlukan untuk menjamin ketersediaan air pada material pad [2].

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh temperatur karbonisasi karbon terhadap sifat mampu basah material, menganalisa pengaruh stuktur pori terhadap sifat mampu basah material dan mengidentifikasi material yang mempunyai sifat mampu basah yang paling tinggi diantara empat spesimen yang akan diuji.

## 2. Dasar Teori

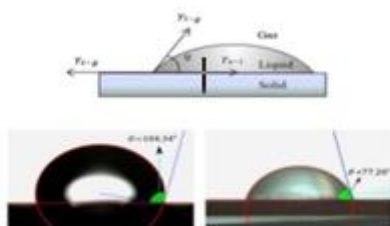
### 2.1. Karbon Aktif

Bambu akan dipilih sebagai material pad pada penelitian ini dibandingkan dengan kayu.. Hal ini didasarkan karena karbon aktif bambu memiliki nilai absorbtivitas yang lebih tinggi dibandingkan karbon aktif kayu. Bambu akan melalui proses karbonisasi dan aktivasi untuk menjadi karbon aktif.

Karbonisasi merupakan proses pirolisis material organik dalam kondisi bebas oksigen (*inert atmosphere*) yang akan menghasilkan residu solid yang mengandung elemen karbon yang tinggi. proses karbonisasi bertujuan untuk memperkaya kandungan karbon dan menghasilkan porositas awal material [3].

### 2.2. Sifat Mampu Basah (*wettability*)

Sifat mampu basah (*wettability*) adalah kemampuan suatu fluida untuk membasahi permukaan zat padat. Dimana sifat mampu basah ditentukan oleh sudut kontak. Apabila sudut kontak material semakin kecil maka semakin tinggi sifat mampu basahnya dan apabila sudut kontak material semakin besar maka semakin rendah sifat mampu basahnya [4].



Gambar 1. Sudut Kontak Cairan Dan Zat Padat (Xu et.al.,2013)

$$\cos\theta = \frac{\gamma_{sg}-\gamma_{ls}}{\gamma_{lg}} \quad (1)$$

Sudut kontak dibentuk oleh permukaan padat dan garis singgung permukaan atas dari *droplet* (tetesan fluida). Sudut kontak merupakan hasil dari tegangan- tegangan permukaan zat gas, cair dan padat. Perhitungan sudut kontak dapat dilakukan dengan menggunakan perumusan seperti pada Gambar 2.5.

Dimana  $\gamma_{sg}$ ,  $\gamma_{ls}$ ,  $\gamma_{lg}$  masing-masing adalah tegangan permukaan padat-gas, tegangan permukaan cair-padat, dan tegangan permukaan cair-gas, seperti pada Gambar 1.

## 3. Metode Penelitian

### 3.1 Pembuatan Karbon Aktif

Bambu akan diterapkan proses karbonisasi dan aktivasi. Dimana bambu akan dilapisi dengan aluminium foil dan di inject nitrogen agar kondisi inert atmosphere, kemudian material akan dimasukan kecawan. Setelah itu cawan yang berisi material akan dimasukan ke dalam furnache yang akan diatur temperturnya sesuai dengan yang ditetapkan. Setelah mencapai temperatur yang diinginkan, maka furnache dimatikan dan material didinginkan selama 12 jam. Adapun hasil dari karbonisasi ini adalah berupa arang.

Setelah menjadi arang, material akan melalui proses aktivasi. Dimana proses aktivasi mempunyai prosedur yang sama. Tetapi pada saat temperatur mencapai suhu yang ditetapkan maka, temperatur ditahan selama 60 menit. Setelah itu material didiamkan selama 12 jam. Adapun hasil dari proses aktivasi berupa karbon aktif.

### 3.1 Pengujian Sudut Kontak

Pengujian sudut kontak menggunakan peralatan pengujian seperti Gambar 2.



Gambar 2. Alat Uji Sifat Mampu Basah

Spesimen akan diletakan dibawah syring pump, dimana akan direkam oleh HSVC (*High Speed Video Camera*) pada saat aquades ditetaskan. Hasil dari HVCS akan diubah menjadi gambar. Gambar yang terpilih akan digunakan untuk mencari sudut kontak yang akan dianalisis menggunakan aplikasi *ImageJ*. Sehingga akan didapat sudut kontak yang dimana menentukan sifat mampu basah dari material.

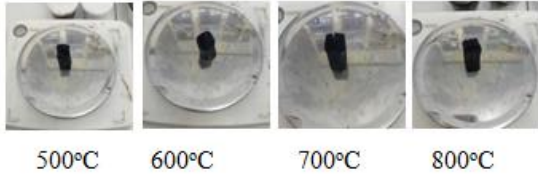
### 3.3 Uji Sem

Nilai jari-jari pori akan didapatkan melalui uji SEM (*Scanning ElectronMicroscope*) berupa gambar dan akan diolah menggunakan aplikasi *ImageJ* sehingga mendapatkan struktur pori.

**4. Hasil dan Pembahasan**

**4.1 Karbonisasi**

Adapun hasil dari karbonisasi adalah sebagai berikut



500°C 600°C 700°C 800°C  
:Gambar 3. Karbon Bambu Betung Hasil Karbonisasi

**4.2 Aktivasi**

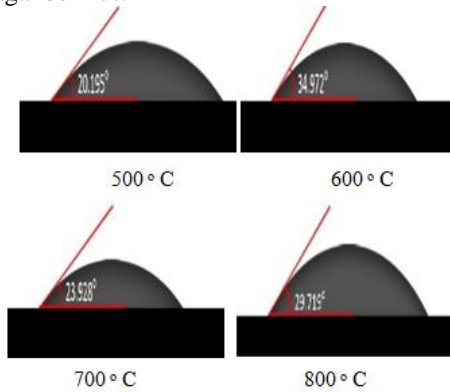
Adapun hasil dari aktivasi adalah sebagai berikut



Gambar 4 . Karbon Aktif Bambu Betung Hasil Proses Aktivasi

**4.3 Sudut kontak**

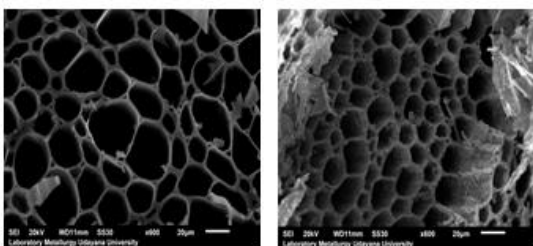
Adapun hasil dari uji sudut kontak adalah sebagai berikut:



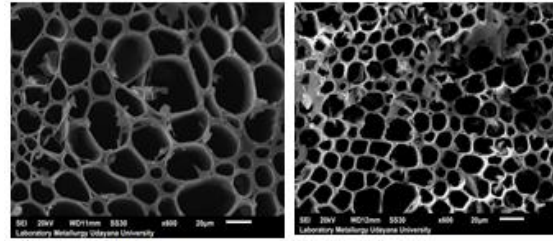
Gambar 5. Sudut Kontak Karbon Aktif Bambu Betung

**4.4 Uji SEM**

Adapun hasil gambar dari uji SEM adalah sebagai berikut:



500°C 600°C



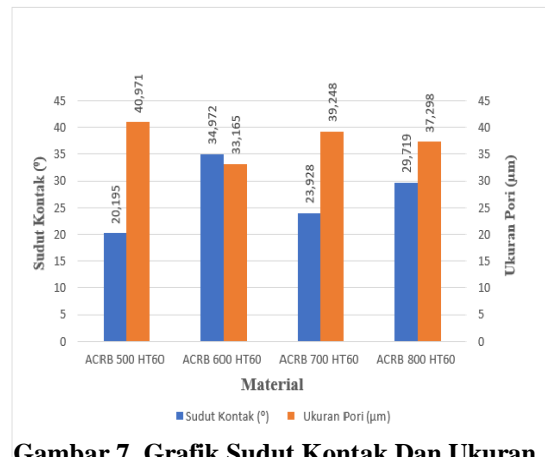
700 ° C 800 ° C

Gambar 6. Struktur Pori Karbon Aktif Bambu Betung Hasil Uji SEM

Kemudian gambar hasil dari uji SEM diolah menggunakan aplikasi ImageJ sehingga didapat ukuran pori seperti berikut:

Tabel 1. Data Ukuran Jari Jari Pori Karbon Aktif Bambu Betung

Nama Spesimen	Jari-jari pori (µm)	Jari-jari pori (m)
ACRB 500 HT60	40,971	40,971 x 10 <sup>-6</sup>
ACRB 600 HT60	33,165	33,165 x 10 <sup>-6</sup>
ACRB 700 HT60	39,248	39,248 x 10 <sup>-6</sup>
ACRB 800 HT60	37,298	37,298 x 10 <sup>-6</sup>



Gambar 7. Grafik Sudut Kontak Dan Ukuran Pori

Dari gambar 6 dapat kita lihat bahwa semakin besar ukuran pori material karbon aktif maka sudut kontakannya semakin kecil dan sebaliknya semakin kecil ukuran pori material maka semakin besar sudut kontakannya. Yang berarti ukuran pori sangat berpengaruh terhadap sudut kontak material, dimana semakin kecil sudut kontakannya semakin tinggi sifat mampu basah material.

Berdasarkan gambar 6 material yang mempunyai sifat mampu basah yang tertinggi merupakan ACRB 500 HT60 karena memiliki sudut kontak yang terkecil yaitu 20,195<sup>0</sup> . Sedangkan material ACRB 600 HT60 memiliki sifat mampu basah terendah karena memiliki sudut kontak tertinggi yaitu 34,972<sup>0</sup> . Sehingga material

ACRB 500 HT60 berpotensi untuk menjadi material pad pada sistem *direct evaporative cooling*.

## 5. Kesimpulan

Dari penelitian ini mengenai “Studi Eksperimental Karakteristik Sifat Mampu Basah Material Karbon Aktif Bambu Betung Dengan  *Holding time 60 Menit Sebagai Material Pad Sistim Direct Evaporative Cooling*” dapat disimpulkan bahwa material karbon aktif yang memiliki sifat mampu basah terbaik diantara 4 material yang di uji adalah ACRB 500 HT60 dengan sudut kontak  $20,195^{\circ}$ . Sedangkan sifat mampu terendah adalah material ACRB 600 HT60 dengan sudut kontak  $30,972^{\circ}$ . Sehingga material ACRB 500 HT60 berpotensi untuk digunakan sebagai material pad *direct evaporative cooling*.

Temperatur karbonisasi dan aktivasi *holding time* tidak selalu mentukan apakah bila semakin tinggi temperatur karbonisasi atau aktivasinya maka semakin tinggi sifat mampu basahnya. Tetapi ukuran pori sangat berpengaruh terhadap sifat mampu basah material. Dimana semakin besar ukuran pori material maka semakin kecil sudut kontaknya. Karena sudut kontak yang semakin kecil memiliki sifat mampu basah yang semakin tinggi juga.

## Daftar Pustaka

- [1] Tiyono, 2017, *Perbedaan Konsumsi Energi Listrik antara Media Pendingin Freon R22 dan Smart-trik Pada Sistem Tata Udara AC*, Universitas Gajah Mada Yogyakarta.
- [2] Ra Wangkul R, Kheda ri J, Hirunla J, Zeghmati B., 2008, *Performance Analysis Of A New Sustainable Evaporative Cooling Pad Made From Coconut Coir*, Int J Susta in Eng. 1(2):117–131.
- [3] Khuluk, Rifki Husnul, 2016, *Pembuatan Dan Karakterisasi Karbon Aktif Dari Tempurung Kelapa (Cocous Nucifera L.) Sebagai Adsorben Zat Warna Metilen Biru*, Bandar Lampung: Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
- [4] Shira zy M.R, Bla is S., Fréchette,L,G., 2012, *Mechanism Of Wettability Transition In Copper Metal Foams: From Superhydrophilic To Hydrophobic*, Applied Surface Science, 258, 6416-6424.



**Roy Kinalsal Ginting** melakukan studi program sarjana di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana tahun 2014 dan menyelesaikan studi pada tahun 2021

Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berhubungan tentang pendingin evaporative.

# Variasi Parameter *Input Spot Welding Design* Dan Perubahan Nilai Tegangan Geser Sambungan *Dissimilar Stainless Steel 316 – Baja Karbon ST 41*

IGA. Anom Wardana, IN. Budiarsa, IGN. Antara  
*Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali*

## Abstrak

Kekuatan hasil sambungan dan karakteristik pengelasan titik (*spot welding*) dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti ketebalan sheet, besarnya diameter tape (*tape size*), waktu pengelasan, besarnya arus pengelasan dan tekanan yang diberikan pada saat pengelasan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui variasi parameter input desain las titik terhadap kekuatan geser dan kekerasan sambungan logam tidak sejenis baja stainless steel 316 dengan baja karbon rendah ST 41. Tebal pelat baja stainless steel 316 yang digunakan yaitu dengan tebal 1,5 mm dan tebal pelat baja karbon rendah ST 41 dengan tebal 2mm. Dalam penelitian ini menggunakan variasi parameter input desain las titik yaitu tegangan las titik yang digunakan adalah 3,2V dan 1,6V dengan waktu pengelasan selama 1 dan 2 detik dan diameter *spot welding taper* yang digunakan 6mm dan 7mm. Berdasarkan perbandingan spesimen hasil dari pengelasan titik dengan code mesin B alat yang didesign untuk penelitian ini dan code mesin A yang merupakan mesin kompetitor (DN-5) dimana mesin tersebut merupakan standar pabrik. Dapat dikatakan bahwa alat yang didesign dengan code mesin B lebih baik dari hasil grafik pengujian yang telah dilakukan. Pengujian mekanik yang digunakan adalah pengujian kekuatan geser. Pengujian kekuatan geser menggunakan standar JIS Z 3139. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kekuatan geser yang paling baik didapatkan pada arus pengelasan code spesimen C ( $\varnothing 6\text{mm}$ , 2*detik*, 3,2V) dengan kekuatan geser rata-rata 300,188 Mpa dengan rata-rata regangan 0,016.

Kata kunci : las titik, baja karbon ST 41, stainless steel 316, uji geser.

## Abstract

Connection strength and spot welding characteristics are influenced by several factors such as sheet thickness, tape diameter (band size), welding time, welding current, and pressure applied during welding. This research was conducted to determine the variation of the last design input parameters on the shear strength and hardness of metal joints unlike stainless steel 316 with low carbon steel ST 41. The thickness of the 316 stainless steel plate used is 1.5 mm thick steel plate and carbon steel plate thickness low ST 41 with a thickness of 2mm. In this study, using a variety of point welding design input parameters, namely the point welding voltage used is 3.2V and 1.6V with a welding time of 1 and 2 seconds and a spot welding taper diameter of 6mm and 7mm. Based on the comparison of the specimen results from the point with machine code B the tool designed for this research and machine code A which is a competitor machine (DN-5) where the machine is the factory standard. It can be said that the tool designed with machine code B is better than the results of the test graph that has been carried out. Mechanical testing is used to test shear strength. The shear strength test used the JIS Z 3139 standard. The results showed that the best shear strength value was obtained at the welding current of the specimen code C ( $\varnothing 6\text{mm}$ , 2*detik*, 3.2 ) with an average shear strength of 300,188 Mpa with an average strain of 0.016.

Key words : Spot welding, carbon steel ST 41, stainless steel 316, shear test

## 1. Pendahuluan

Dalam perkembangan teknologi industri otomotif saat ini, pemenuhan permintaan pasar merupakan aspek penting untuk menghasilkan produk berkualitas tinggi yang merupakan komitmen perusahaan saat ini. Semua bahan yang digunakan dalam struktur mobil seperti bodi mobil, harus memenuhi kriteria kemampuan dibentuk, kemampuan perbaikan, kemampuan las, dan kemampuan ketahanan korosi. [8] mengatakan kendaraan modern mencakup 2.000-5.000 titik las. Pengelasan titik digunakan karena beberapa bahan

yang digunakan untuk merakit bodi menggunakan lembaran logam tipis yang termasuk dalam standar pembuatan bahan bodi kendaraan. Las titik merupakan metode mutakhir penyambungan yang umumnya digunakan untuk menyambung lembaran logam [5]. Pengelasan titik adalah penggunaan panas dari hambatan listrik yang dilakukan oleh dua elektroda pada waktu pengelasan tertentu untuk menghubungkan dua komponen logam dengan logam yang menghubungkannya melalui satu atau lebih titik sambungan. Dengan demikian, suatu sambungan las dibentuk antara lembaran logam

melalui peleburan dan mengakibatkan terikat kuat antara lembaran tanpa zat tambahan [6]. Kelebihan dari pengelasan titik dibandingkan proses pengelasan lainnya adalah prosesnya cepat dan cocok untuk produksi massal, masukan panas yang dihasilkan cukup akurat, teratur, dan reguler, sifat dari mekanik hasil las kompetitif dengan logam induk dan tidak memerlukan kawat las [2]. Penggunaan las titik ini memiliki keunggulan yaitu sambungannya rapih, cepat, dan hasil sambungan lebih rapat, untuk kualitas dan karakteristik hasil sambungan dipengaruhi beberapa faktor diantaranya ketebalan plat, diameter *spot welding electrode taper*, arus dan juga lama waktu pengelasan yang dipakai [1]. Pada industri karoseri kekuatan dan kerapian sambungan pada *body* sangat diperhatikan karena akan ikut menentukan kualitas produk. Salah satu cara yang sering direkomendasikan pada industri ini adalah las titik atau *spot welding*.

Kualitas, karakteristik, dan kekuatan hasil pengelasan titik dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain besarnya arus dan tegangan yang digunakan, besarnya tekanan yang diberikan selama proses pengelasan, waktu pengelasan, dan *electrode taper* dalam menghasilkan (*nugget*). Salah satu teknik pengelasan yang sedang berkembang saat ini adalah teknik penyambungan dua logam yang berbeda atau logam yang berbeda. Penyambungan logam yang tidak sejenis adalah penyambungan dua jenis logam yang berbeda sifat dengan cara dilas. Penggabungan logam yang berbeda bertujuan untuk mengurangi berat kendaraan dan memungkinkan penggunaan bahan bakar yang efisien di dalam kendaraan [10]. Pengelasan dengan logam tidak sejenis dapat lebih rumit dari pada pengelasan logam sejenis karena siklus termal [9]. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan nilai kekuatan geser hasil pengelasan titik dari dua logam tidak sejenis.

## 2. Dasar Teori

Nilai masukan panas yang dihasilkan dalam proses las titik (*spot welding*) ini adalah berasal dari besarnya arus listrik yang dihasilkan dan waktu tekan yang digunakan saat pengelasan berlangsung serta tahanan listrik dari material diantara elektroda. Faktor - faktor tersebut dapat ditinjau dari persamaan berikut :

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

Dimana:

- H = Total *heat input* (joule)
- I = Arus (Ampere)
- R = Resistansi elektrik dari sirkuit ( $\Omega$ )
- T = Waktu Pengelasan (detik)

Dalam mendesain alat las titik (*spot welding*) perangkat utama yang digunakan adalah sebuah transformator atau lalu lintas Trafo merupakan sebuah perangkat yang dapat mengubah

tahap tegangan listrik baik meningkatkan menurunkan tegangan berdasarkan prinsip kerja elektromagnetik. Trafo didesain memiliki dua kumparan yang disebut dengan kumparan primer dan kumparan sekunder. Kumparan primer menjadi jalan mengalirnya arus masuk sedangkan kumparan sekunder menjadi jalan keluar arus keluaran hasil induksi. hubungan antara daya, tegangan, arus dan lilitan pada trafo ideal dituliskan dalam persamaan berikut:

$$P_p = P_s \quad (2)$$

$$I_p \cdot V_s = I_s \cdot V_p \quad (3)$$

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p} \quad (4)$$

Dimana:

- $P_p$  = daya primer (watt)
- $P_s$  = daya sekunder (watt)
- $V_p$  = tegangan primer (V)
- $V_s$  = tegangan sekunder (V)
- $N_p$  = lilitan primer
- $N_s$  = lilitan sekunder
- $I_p$  = arus primer (A)
- $I_s$  = arus sekunder (A)

Pengujian geser biasanya digunakan pada suatu sambungan (sambungan las), Kekuatan geser adalah salah satu kemampuan mekanik yang penting dari sebuah logam. Kekuatan geser suatu bahan adalah tegangan yang menyebabkan komponen rusak/patah akibat beban geser. Tegangan geser merupakan tegangan yang bekerja sejajar atau menyinggung permukaan. Tegangan maksimum dari pengujian geser dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (5)$$

Dimana:

- $\tau$  = Tegangan geser (MPa)
- F = Gaya geser (N)
- A = Luas penampang (mm<sup>2</sup>)

Untuk regangan geser digunakan persamaan :

$$\gamma = \frac{L_f - L_o}{L_o} \quad (6)$$

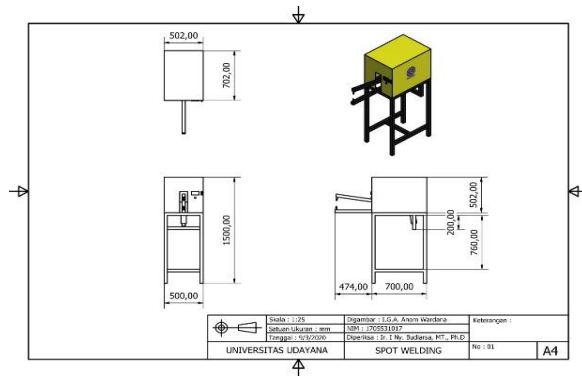
Dimana:

- $\gamma$  = Regangan
- $L_f$  = Panjang Akhir (mm)
- $L_o$  = Panjang Awal (mm)

## 3. Metode Penelitian

### 3.1 Desain Mesin Spot Welding

Mesin *spot welding* ini di desain menggunakan autodeskr inventor, dengan tinggi 150cm, panjang 70cm, dan lebar 50cm dimana sudah sesuai ergonomi rata-rata orang Indonesia. Mesin ini dirancang dengan kapasitas 5 kVA dengan menggunakan trafo, trafo ini dirakit menggunakan kern 51 dan panjang kern 30cm dengan ukuran kawat primer 2,3mm dan pada sekunder menggunakan plat tembaga 50mmx5mm.



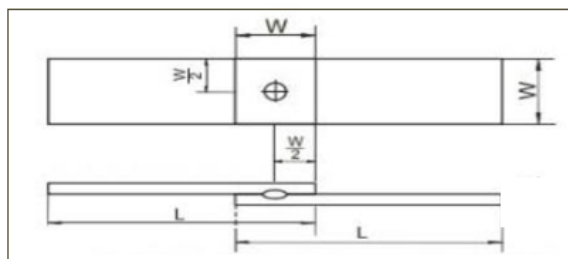
Gambar 1 Menjelaskan Desain 3D Mesin Spot Welding

### 3.2. Bahan Penelitian

1. Plat Stainless steel 316 dengan tebal 1,5mm.
2. Plat Baja Karbon Rendah ST 41 dengan tebal 2mm.

### 3.3. Pengujian Geser

Spesimen yang digunakan untuk pengujian geser yaitu menggunakan standar JIS Z 3139.



Gambar 2 Menjelaskan Spesimen Uji Geser

Dimana :

L = Panjang Spesimen ( 150mm )

W = Lebar Spesimen ( 30mm )

Rumus Pengujian Geser :

$$\tau_s = \frac{F_s}{A} \quad (7)$$

Dimana :

$\tau_s$ : Tegangan geser material (N/mm<sup>2</sup>)

$F_s$ : Beban geser (Kg)

A : Luas penampang (mm<sup>2</sup>)

### 3.2 Variabel Penelitian

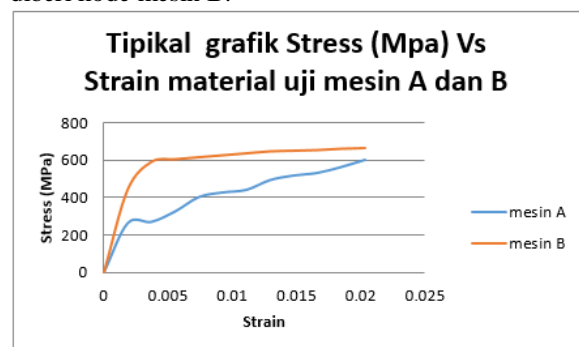
- Variabel bebas  
Diameter *electrode taper* yang digunakan  $\varnothing 6mm$  dan  $\varnothing 7mm$ , waktu tekan 1 detik dan 2 detik, tegang mesin 3,2V dan 1,6V.
- Variabel Terikat  
Uji geser.

## 4. Hasil dan Pembahasan

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

### 4.1 Perbandingan Hasil Pengujian Mesin A Dan Mesin B

Dalam perbandingan pengujian geser sambungan las titik antara mesin A dan mesin B ini digunakan material yaitu stainless steel 316 tebal 1,5 mm dan baja karbon ST 41 tebal 2mm dilakukan dengan mesin yang didesain dan mesin eksisting (DN-5). Dimana pengujian geser sambungan las titik mesin yang didesain dan mesin eksisting (DN-5) ini bermaksud untuk mengetahui bagaimana hasil dari kekuatan sambungan dari masing-masing mesin tersebut terhadap uji geser, dengan parameter dari masing-masing mesin tersebut sama yaitu taper yang digunakan dengan diameter taper 5mm, waktu pengelasan 1 detik dan kapasitas pada mesin yang didesain dan mesin eksisting (DN-5) 5kVA. Pada hasil pengelasan titik dengan mesin eksisting diberi kode mesin A dan hasil pengelasan titik dengan mesin yang didesain diberi kode mesin B.



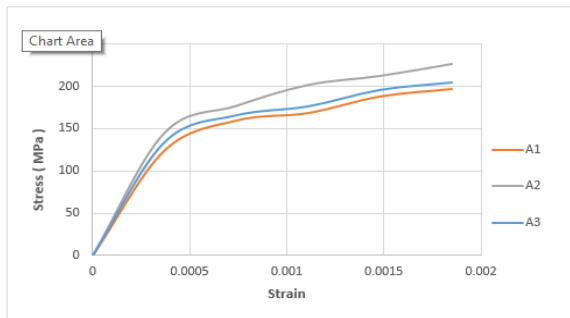
Gambar 3 Menunjukkan Grafik Perbandingan Uji Geser Mesin A dan B

Dari grafik diatas dapat dijelaskan bahwa hasil dari pengelasan titik pada spesimen kode mesin B saat diberi gaya pada pengujian geser kekuatan luluh (*yield strength*) dan tegangan geser maksimal yang dihasilkan lebih besar. Dengan kekuatan luluh (*yield strength*) yang besar dapat diartikan kondisi sambungan las yang dihasilkan memiliki kondisi elastis yang besar juga. Dengan kekuatan elastis yang besar sambungan las titik itu dapat dikatakan lebih baik dan lebih kokoh saat diberi gaya. Dan tegangan geser maksimal yang dihasilkan kode mesin B juga lebih besar dibandingkan mesin A.

### 4.2 Hasil Uji Geser Sambungan Las Titik

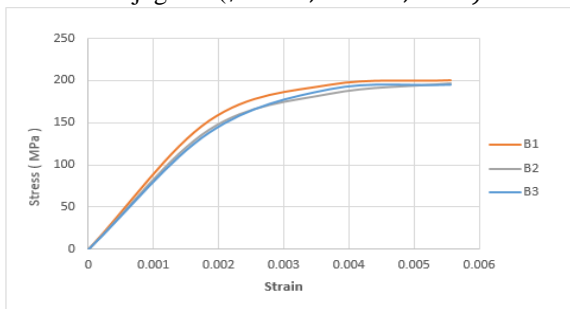
Dimana dalam pengelasan titik ini digunakan variasi parameter yang telah ditentukan yaitu diameter *electrod taper*  $\varnothing 6mm$  dan  $\varnothing 7mm$ , waktu tekan saat pengelasan 1 dan 2 detik, tegangan mesin las titik 3,2 V dan 1,6 V. dilakukan 3 kali pengujian geser dalam 1 parameter.

Hasil Uji geser ( $\varnothing$  6mm, 1 detik, 3,2V )



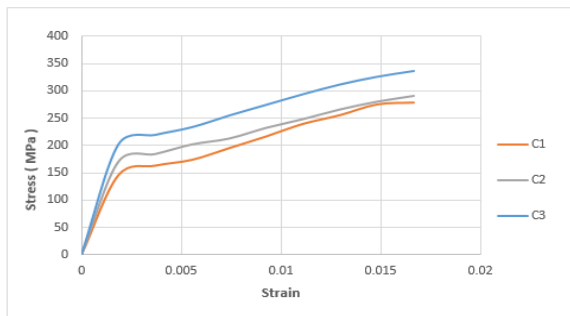
**Gambar 4 Menunjukkan Grafik Uji Geser Spesimen A**

Hasil Uji geser ( $\varnothing$  6mm, 1 detik, 1.6V )



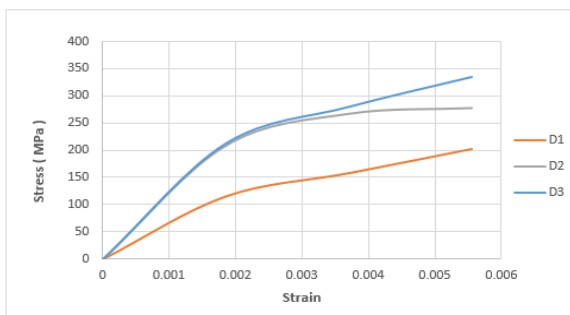
**Gambar 5 Menunjukkan Grafik Uji Geser Spesimen B**

Hasil Uji geser ( $\varnothing$  6mm, 2 detik, 3.2V )



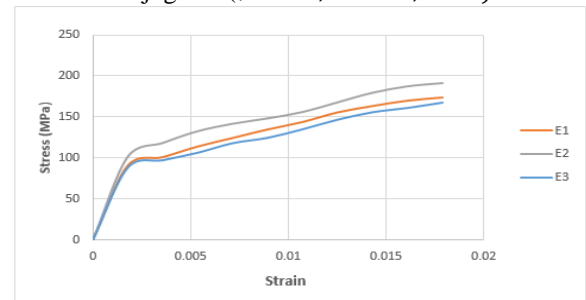
**Gambar 6 Menunjukkan Grafik Uji Geser Spesimen C**

Hasil Uji geser ( $\varnothing$  6mm, 2 detik, 1.6V )



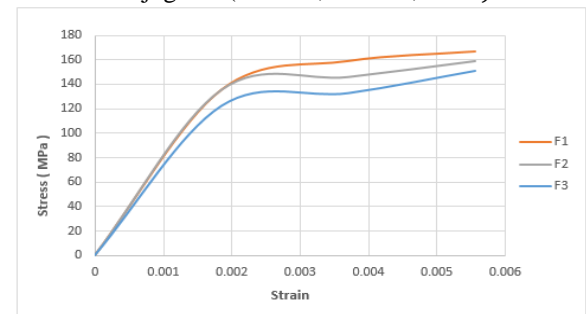
**Gambar 7 Menunjukkan Grafik Uji Geser Spesimen D**

Hasil Uji geser ( $\varnothing$  7mm, 1 detik, 3.2V )



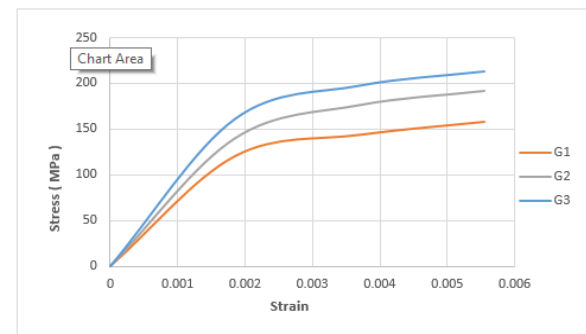
**Gambar 8 Menunjukkan Grafik Uji Geser Spesimen E**

Hasil Uji geser ( $\varnothing$  7mm, 1 detik, 1.6V )



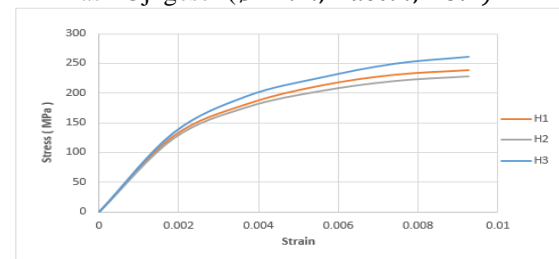
**Gambar 9 Menunjukkan Grafik Uji Geser Spesimen F**

Hasil Uji geser ( $\varnothing$  7mm, 2 detik, 3.2V )



**Gambar 10 Menunjukkan Grafik Uji Geser Spesimen G**

Hasil Uji geser ( $\varnothing$  7mm, 2 detik, 1.6V )

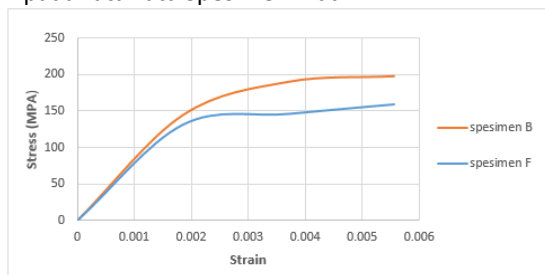


**Gambar 11 Menunjukkan Grafik Uji Geser Spesimen H**

### 4.3 Analisa Pengaruh Parameter Terhadap Uji Geser



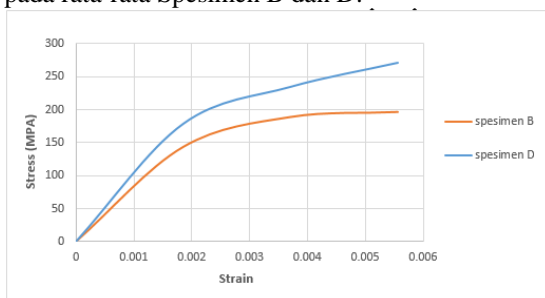
Perbedaan hasil dari diameter electrode taper 6 dan 7 pada rata-rata Spesimen B dan F



**Gambar 12 Menunjukkan Perbedaan Hasil Rata-Rata Spesimen B Dan Spesimen F**

Dapat dilihat hasil rata-rata uji geser spesimen B dengan diameter taper 6mm lebih baik dibandingkan hasil rata-rata uji geser spesimen F dengan diameter 7mm. Standar ukuran dari diameter electrode taper dengan ketebalan plat yang digunakan bisa dicari dengan persamaan  $d=4\sqrt{t}$  (8) dimana d dan t adalah ukuran dari electrode taper dan ketebalan plat yang digunakan dalam satuan mm. Pada spesimen B dan F digunakan plat baja karbon ST 41 dengan tebal 2mm, dari persamaan itu didapatkan standar untuk ketebalan plat 2mm adalah dengan diameter electrode taper 6mm. Jadi standar dari electrode taper yang didapatkan dari persamaan tersebut dengan hasil pengujian spesimen B dan F bisa dikatakan ukuran diameter electrode taper sangat berpengaruh terhadap kekuatan sambungan las titik.

Perbedaan hasil dari waktu tekan 1 detik dan 2 detik pada rata-rata Spesimen B dan D.



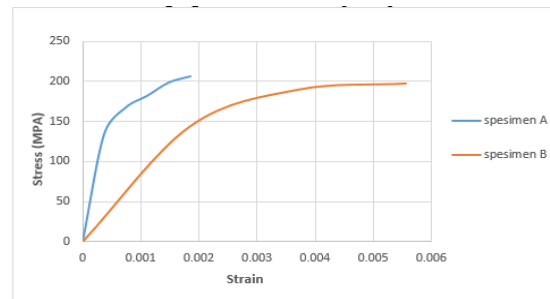
**Gambar 13 Menunjukkan Perbedaan Hasil Rata-Rata Spesimen B Dan Spesimen D**

Dapat dilihat hasil rata-rata uji geser spesimen D dengan waktu tekan 2 detik lebih baik dibandingkan hasil rata-rata uji geser spesimen B dengan waktu tekan 1 detik. Dari persamaan  $H = I^2 \cdot R \cdot T$  (9), jadi jika nilai T ( waktu) yang diberikan semakin besar maka nilai H (masukan panas) akan semakin besar. Dapat diartikan bahwa pengaruh dari waktu tekan saat pengelasan sangat berpengaruh terhadap kekuatan uji geser karena besar masukan panas saat proses peleburan logam pada pengelasan titik salah satunya dari waktu tekan yang diberikan.

Perbedaan hasil dari tegangan 3,2 V dan 1,6 V pada Spesimen A dan B.

Dilihat rata-rata hasil dari spesimen A menghasilkan tegangan maksimum lebih besar

dibandingkan rata-rata hasil dari spesimen B. Perbedaan dari parameter yang digunakan dari kedua buah spesimen yaitu pada tegangan pada mesin yang digunakan dimana semakin besar tegangan yang digunakan semakin besar juga daya maksimum mesin yang digunakan dan itu berpengaruh pada arus yang dikeluarkan.



**Gambar 14 Menunjukkan Perbedaan Hasil Rata-Rata Spesimen A Dan Spesimen B**

. Dari persamaan  $H = I^2 \cdot R \cdot T$  (10) semakin besar nilai I ( arus) yang yang diberikan semakin besar maka nilai H (masukan panas) akan semakin besar. Dapat diartikan bahwa pengaruh dari tegangan mesin yang digunakan saat pengelasan sangat berpengaruh terhadap kekuatan uji geser karena besar tegangan sama dengan besar arus yang diberikan, jadi masukan panas saat proses peleburan logam pada pengelasan titik salah satunya dari tegangan mesin yang diberikan.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Mesin Spot Welding yang didesain dapat menghasilkan tegangan dan arus dengan baik, dan juga dapat digunakan mengelas titik dengan baik. Mesin spot welding yang didesain sesuai dengan kalibrasi yang dilakukan yaitu dengan mengukur kapasitas mesin dan tegangan yang dihasilkan pada mesin dimana hasilnya adalah kapasitas mesin sesuai perancangan yang dibuat dengan kapasitas mesin menghasilkan 5kVA dan tegangan yang dihasilkan sebesar 3,4V. Pada perbandingan spesimen hasil dari pengelasan titik dengan code mesin B alat yang didesign untuk penelitian ini dan code mesin A yang merupakan mesin kompetitor (DN-5) dimana mesin tersebut merupakan standar pabrik. Dapat dikatakan bahwa alat yang didesign dengan code mesin B lebih baik dari hasil grafik pengujian yang telah dilakukan.
2. Pada hasil pengujian geser yang dilakukan spesimen C menghasilkan nilai tegangan geser maksimal paling tinggi dengan nilai rata-rata tegangan geser 300,188 Mpa dengan rata-rata regangan 0,016 dan spesimen F menghasilkan nilai tegangan

geser paling rendah dengan nilai tegangan geser rata-rata 158,606 Mpa dengan regangan rata-rata 0,005.

#### Daftar Pustaka

- [1] Aditia Arif Gunawan, I N. Gde Antara., dan I N. Budiarsa, 2020, *View of Sifat Mekanis Sambungan Similar Stainless Steel 304 Dengan Variasi Ketebalan dan Diameter Spot Welding Electrode Taper n.d.*, Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika, 9 (1): 846-850.
- [2] Anis M., Irsyadi A., and Ferdian D., 2010, *Studi Lapisan Intermetalik Cu3sn Pada Ujung Elektroda Dalam Pengelasan Titik Baja Galvanis*, MAKARA of Technology Series, 13(2), pp. 91–95.
- [3] Budiarsa I. N., I N. Gde Antara., Agus Dharma, and IN. Karnata, 2018, *Determination Plastic Properties of a Material by Spherical Indentation Base on the Representative Stress Approach*, Journal of Physics: Conference Series, 989(1).
- [4] Budiarsa I N., I M. Astika., I N. G. Antara., and IM.G. Karohika, 2019, *Optimization on Strength Spot Welding Joint Trough Finite Element Modelling Indentation Approach*, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 539(1).
- ] Budiarsa I N., ID.G.Ary Subagia, W.Widhiada, and N.P.G. Suardana, 2015, *Characterization of Material Parameters by Reverse Finite Element Modelling Based on Dual Indenters Vickers and Spherical Indentation*, Procedia Manufacturing, 2 (February): 124–29.
- [6] Charde N., 2012, *Effects of Electrode Deformation on Carbon Steel Weld Geometry of Resistance Spot Welding*, 1(5), pp. 5–12.
- [7] IG.N. Nitya Santhiarsa, Budiarsa IN., 2008, *Pengaruh Posisi Pengelasan Dan Gerakan Elektroda Terhadap Kekerasan Hasil Las Baja*, JIS SSC 41. 2(2).
- [8] Pouranvari M., Marashi S.P. H, 2011, *Dissimilar spot welds of AISI 304/AISI 1008. Metallurgical and mechanical characterization*. *Steel Research International*, 82(12), pp. 1355–1361.
- [9] D.B. Jabaraj, 2013, *Research on Resistance Spot Welding of Stainless Steel*, An Overview A. 4(12), pp. 1741–1750.
- [10] Rusmawan D. D., Hendrawan M. A., 2014. *Studi Pengaruh Arus Dan Waktu Pengelasan Terhadap Sifat Mekanik Sambungan Las Titik (Spot Welding) Logam Tak Sejenis*, pp. 6–13



**IGA Anom Wardana**

menyelesaikan studi di SMK N 1 Denpasar pada tahun 2017, kemudian melanjutkan program sarjana di program studi Teknik Mesin Udayana pada tahun 2017, dan menyelesaikannya pada tahun 2021.

Bidang penelitian yang diminati adalah rekayasa manufaktur, mengenai tentang logam dan *spot welding*.

# Variasi Parameter Input Spot Welding Design dan Perubahan Nilai Tegangan Geser Sambungan Dissimilar Galvalum - Baja Karbon ST 41

I K.. Purnama Ari Putra, I N. Budiarsa, I N. G. Antara  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh fluktuasi parameter input desain las titik dan perubahan nilai tegangan geser pada sambungan heterogen galvalum (baja karbon ST 41 dengan elektroda las titik diameter kerucut 6 mm dan 7 mm). Penelitian dilakukan dengan 3 metode pengujian untuk mengetahui pengaruh variasi parameter input Spot Welding Design dan perubahan nilai tegangan geser sambungan dissimilar Galvalum – Baja Karbon ST 41 menggunakan diameter-diameter Spot Welding Electrode Taper 6 mm & 7 mm, yaitu uji tarik buat logam induk (Base Metal), uji geser dalam sambungan las (Weld Joint). Hasil penelitian pertama nilai kekuatan geser yg paling baik dihasilkan dalam spesimen C ( $\emptyset$  6mm, tiga volt, 0,lima detik) menggunakan kekuatan geser homogen-homogen 176,339 MPa & nilai homogen-homogen regangan 0,041 dengan diameter-diameter Spot Welding Electrode Taper 6 mm dan 7 mm, yaitu uji tarik untuk logam induk (Base Metal), uji geser pada sambungan las (Weld Joint). Hasil penelitian menunjukkan nilai kekuatan geser yang paling baik didapatkan pada spesimen C ( $\emptyset$  6mm, 3 volt, 0,5 detik) dengan kekuatan geser rata-rata 176,339 MPa dan nilai rata-rata regangan 0,041.

Kata kunci: Spot Welding, Dissimilar, Tarik, Geser

## Abstract

This study aims to determine the effect of variations in the input parameters of Spot Welding Design and changes in the value of shear stress of Galvalume dissimilar joints - ST 41 Carbon Steel with Spot Welding Electrode Taper diameters of 6 mm and 7 mm. This study uses 3 test methods to determine the effect of variations in the input parameters of Spot Welding Design and changes in the value of shear stress and Galvalume dissimilar joints - ST 41 Carbon Steel with a Spot Welding Electrode Taper diameter of 6 mm and 7 mm, namely tensile tests for metals. (Base Metal), shear test on welded joints (Weld Joint). The results showed that the best shear strength value was found in specimen C ( $\emptyset$  6mm, 3 volts, 0.5 seconds) with an average shear strength of 176.339 MPa and an average strain value of 0.041.

Keywords: Spot Welding, Dissimilar, Tensile, Shear

## 1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi saat ini telah menyebabkan peningkatan pesat dalam penelitian penggunaan energi listrik, termasuk pengelasan [2]. Lebih dari 40 jenis pengelasan dilakukan, seperti pengelasan titik, di mana dua logam ditekan bersama dan bergabung untuk mengikat ikatan antara atom dan molekul logam [1]. Pengelasan titik adalah proses pengelasan yang menjepit lembaran logam dengan dua elektroda, dan ketika arus listrik mengalir melalui posisi penjepit, sambungan las dimungkinkan. Salah satu teknik pengelasan yang paling banyak digunakan saat ini adalah teknik penyambungan dua logam yang berbeda (berbeda). Salah satu teknik pengelasan yang paling populer saat ini adalah penyambungan dua logam yang berbeda. Ikatan logam yang tidak sama (tidak rata) mewakili ikatan antara dua logam dengan sifat yang berbeda. Bahan yang digunakan di area ini, seperti rangka dan bagian bodi, harus memenuhi kriteria kemampuan cetakan, kemampuan las, ketahanan korosi, dan kemampuan perbaikan. Alat transportasi seperti sepeda motor, mobil, kereta api, pesawat dan kapal laut merupakan kebutuhan yang sangat

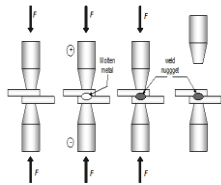
penting, dan mengingat cadangan bahan bakar fosil yang semakin menipis, maka diperlukan transportasi yang murah dan hemat energi. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, pengaruh parameter pengelasan titik terhadap sifat mekanik galvalum baja karbon rendah dan ST 41 ditentukan dengan melakukan uji tarik pada galvalum dan baja karbon rendah ST 41 sebagai bahan dasar. Uji geser dan uji ketahanan hasil pengelasan. Berdasarkan fenomena tersebut, penulis tertarik untuk melakukan penelitian yang berjudul “Variasi Parameter Masukan Desain Titik Las dan Perubahan Nilai Tegangan Geser Pada Sambungan Heterogen Galvalum Baja Karbon St41”. Alat transportasi seperti sepeda motor, mobil, kereta api, pesawat terbang maupun kapal laut adalah kebutuhan yang sangat penting. Dengan semakin berkurangnya cadangan bahan bakar fosil, maka diperlukan alat transportasi yang murah dan hemat energy. Oleh karena itu, penelitian ini menentukan pengaruh parameter pengelasan titik terhadap sifat mekanik baja karbon rendah galvalume dan ST 41 dengan melakukan uji tarik pada galvalum sebagai bahan dasar dan baja karbon rendah ST 41. Saya bertujuan untuk itu. , Uji geser dan uji ketahanan

hasil pengelasan. Berdasarkan fenomena tersebut, penulis mengerjakan penelitian yang berjudul “Variasi parameter input desain las titik dan perubahan nilai tegangan geser pada sambungan heterogen galvalum”

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Las Titik (Spot Welding)

Pengelasan, juga disebut sebagai pengelasan titik (*spot welding*), dilakukan dengan menekan dua pelat dengan jenis yang sama atau berbeda antara kerucut elektroda las titik, dengan aliran arus dan panas yang dihasilkan secara simultan pada permukaan logam, diikuti oleh hambatan listrik, meleleh setelah mencair.



**Gambar 1.** Proses Pengelasan Las Titik.

(<http://widimaterial.blogspot.com>)

### 2.2 Spot Welding Electrode Taper

Kerucut elektroda las titik berada di ujung pistol las yang digunakan untuk memberikan tekanan pada benda kerja. Kerucut elektroda las titik tidak hanya menekan benda kerja, tetapi juga membawa arus besar melalui proses pengelasan selama pengelasan titik.



**Gambar 2.** Spot Welding Elektroda Taper.

Karena elektroda las titik lancip memiliki titik leleh yang berbeda dengan benda yang akan dilas, maka elektroda las titik lancip terbuat dari tembaga sehingga tidak melekat atau melekat pada benda kerja setelah proses pengelasan selesai. Elektroda las digunakan dalam penelitian ini. Kerucut berdiameter 6 mm dan 7 mm [3].

### 2.3 Galvalum

*Galvalum* pertama kali dikerjakan pada tahun 1962 dan disempurnakan oleh Bethlehem International Engineering Corporation. Produksi komersial pertama material *Galvalum* adalah pada tahun 1972 untuk meningkatkan ketahanan korosi pada baja ringan dapat dilakukan dengan pelapisan paduan seng dan aluminium.

**Tabel 1.** Komposisi Kimia *Galvalum*

Komposisi Kimia <i>Galvalum</i> (%)		
Al	Si	Zn
55	1,6	43,4

### 2.4 Baja Karbon

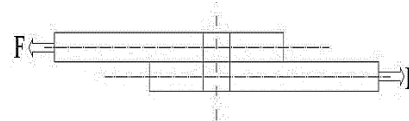
Baja karbon ST 41 merupakan salah satu baja karbon rendah. Bahan ini termasuk dalam golongan baja karbon rendah karena komposisinya mengandung karbon 0,08% dan 0,20%. Baja karbon rendah banyak digunakan pada bagian mesin industri seperti roda gigi, rantai, kopling dan poros. Selain itu, baja ST 41 juga digunakan sebagai pegangan rem, lambung, lambung, pipa, konstruksi jembatan dan paku keling untuk sepeda motor.

**Tabel 2.** Komposisi Kimia Baja ST 41

Komposisi Kimia Baja ST 41 (%)					
Fe	C	Mn	Si	S	P
98,985	0,10	0,6	0,25	0,035	0,03

### 2.5 Uji Geser

Kekuatan geser merupakan sifat mekanik logam yang diindikasikan penting. Terutama pada perencanaan konstruksi maupun pengerjaan logam tersebut. Kekuatan geser suatu bahan dapat diketahui dengan menguji tarik atau pengujian geser pada bahan yang bersangkutan. Perbedaan pengujian tarik dengan pengujian geser merupakan gaya yang bekerja pada saat proses pengujian berlangsung, gaya yang terjadi pada saat pengujian tarik merupakan gaya arah memanjang (longitudinal), sedangkan gaya yang terjadi pada saat pengujian geser merupakan gaya arah vertical [3]. Untuk pengujian geser ini prosesnya hampir sama dengan pengujian Tarik dikarenakan hanya merubah posisi material yang ingin diujikan. Dari uji geser akan diperoleh sifat sifat sebagai berikut:



**Gambar 3.** Tegangan Geser

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Dimana:

$\tau$  : Tegangan geser (MPa)

F : Gaya geser (N)

A : Luas penampang ( $mm^2$ )

Regangan yang didapatkan merupakan regangan linear rata-rata, yang diperoleh dengan cara membagi perpanjangan (gauge length) benda uji, dengan panjang awal.

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

Dimana:

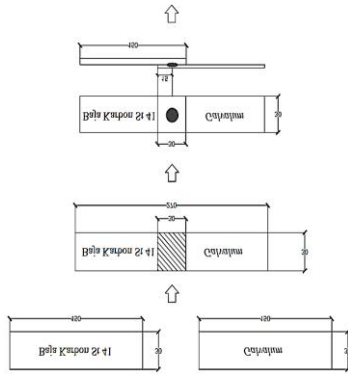
$\varepsilon$  : Regangan

$\Delta L$  : Pertambahan Panjang (mm)

$L_0$  : Panjang awal (mm)

## 3. Metode Penelitian

### 3.1 Bentuk Spesimen Uji



Gambar 4. Skematik Spesimen

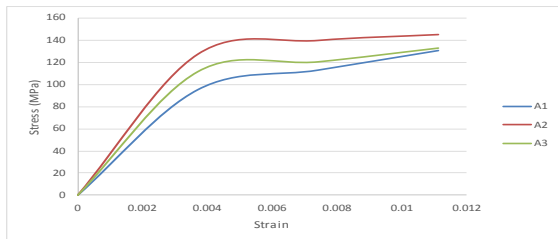
#### 4. Hasil dan Pembahasan

##### 4.1 Hasil Pengujian Uji Geser pada Sambungan Las

Untuk uji geser sambungan las yang diperoleh dari dua sampel dengan elektroda las diameter kerucut 6 mm dan 7 mm, hasil uji geser sambungan las ini dapat ditunjukkan pada tabel berikut. grafis:

##### 4.1.1 Hasil Uji Geser Sambungan Las Electrode Taper 6 mm

Hasil dari pengujian geser spesimen dengan kode (A) menggunakan variasi electrode taper 6 mm, 1,8 volt dan waktu 0,5 detik dengan data dalam grafik berikut:



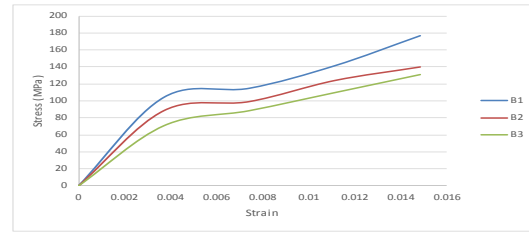
Gambar 5. Grafik Tegangan-Regangan Geser pada Sambungan Las (A)

Berdasarkan hasil uji geser yang ditunjukkan pada grafik di atas, tampilkan data uji geser sambungan las kode (A) dan dapatkan nilai tegangan geser rata-rata dan nilai perpanjangan rata-rata 0,011 untuk ketiga sampel sebesar 136.235 MPa.

Tabel 3. Rata-rata dari Tiga Spesimen Uji Geser pada Sambungan Las (A)

Spesimen	Tegangan Geser Maks. (MPa)	Regangan
A1	130,927	0,011
A2	145,081	0,011
A3	132,696	0,011
Rata-rata	136,235	0,011

Hasil dari pengujian geser spesimen dengan kode (B) menggunakan variasi electrode taper 6 mm, 1,8 volt dan waktu 1 detik dengan data dalam grafik berikut:



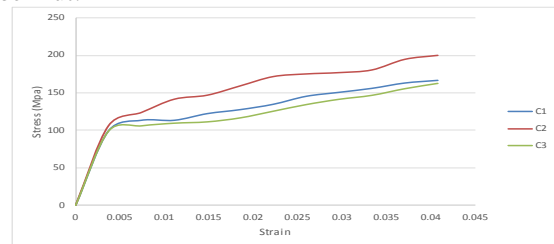
Gambar 6. Grafik Tegangan-Regangan Geser pada Sambungan Las (B)

Berdasarkan hasil dari pengujian geser yang di gambarkan pada grafik pada gambar diatas menunjukkan data uji geser pada sambungan las dengan kode (B) mendapatkan nilai rata-rata tegangan geser dari ketiga spesimen sebesar 149,210 MPa dan nilai rata-rata regangan sebesar 0,015.

Tabel 4. Rata-rata dari Tiga Spesimen Uji Geser pada Sambungan Las (B)

Spesimen	Tegangan Geser Maks. (MPa)	Regangan
B1	176,929	0,015
B2	139,774	0,015
B3	130,927	0,015
Rata-rata	149,210	0,015

Hasil dari pengujian geser spesimen dengan kode (C) menggunakan variasi electrode taper 6 mm, 3 volt dan waktu 0,5 detik dengan data dalam grafik berikut:



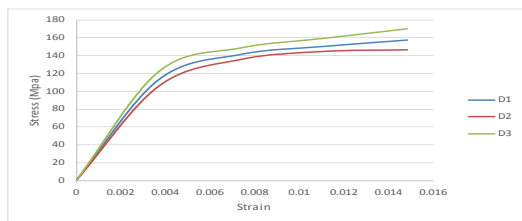
Gambar 7. Grafik Tegangan-Regangan Geser pada Sambungan Las (C)

Berdasarkan hasil dari pengujian geser yang di gambarkan dalam grafik pada gambar diatas menunjukkan data uji geser pada sambungan las dengan kode (C) mendapatkan nilai rata-rata tegangan geser dari ketiga spesimen sebesar 176,339 MPa dan nilai rata-rata regangan sebesar 0,041.

Tabel 5. Rata-rata dari Tiga Spesimen Uji Geser pada Sambungan Las (C)

Spesimen	Tegangan Geser Maks. (MPa)	Regangan
C1	166,313	0,041
C2	199,929	0,041
C3	162,774	0,041
Rata-rata	176,339	0,041

Hasil dari pengujian geser spesimen dengan kode (D) menggunakan variasi electrode taper 6 mm, 3 volt dan waktu 1 detik dengan data dalam grafik berikut:



**Gambar 8.** Grafik Tegangan-Regangan Geser pada Sambungan Las (D)

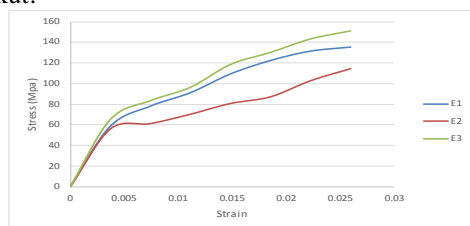
Berdasarkan hasil dari pengujian geser yang di gambarkan pada grafik pada gambar diatas menunjukkan data uji geser pada sambungan las dengan kode (D) mendapatkan nilai rata-rata tegangan geser dari ketiga spesimen sebesar 158,056 MPa dan nilai rata-rata regangan sebesar 0,015.

**Tabel 6.** Rata-rata dari Tiga Spesimen Uji Geser pada Sambungan Las (D)

Spesimen	Tegangan Geser Maks. (MPa)	Regangan
D1	157,466	0,015
D2	146,851	0,015
D3	169,851	0,015
Rata-rata	158,056	0,015

#### 4.1.2 Hasil Uji Geser Sambungan Las Electrode Taper 7mm

Hasil dari pengujian geser spesimen dengan kode (E) menggunakan variasi electrode taper 7 mm, 1,8 volt dan waktu 0,5 detik dengan data dalam grafik berikut:



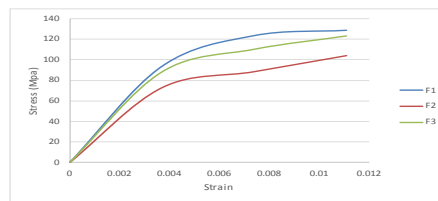
**Gambar 9.** Grafik Tegangan-Regangan Geser pada Sambungan Las (E)

Berdasarkan hasil dari pengujian geser yang di gambarkan pada grafik pada gambar diatas menunjukkan data uji geser pada sambungan las dengan kode (E) mendapatkan nilai rata-rata tegangan geser dari ketiga spesimen sebesar 133,455 MPa dan nilai rata-rata regangan sebesar 0,026.

**Tabel 7.** Rata-rata dari Tiga Spesimen Uji Geser pada Sambungan Las (E)

Spesimen	Tegangan Geser Maks. (MPa)	Regangan
E1	135,188	0,026
E2	114,390	0,026
E3	150,786	0,026
Rata-rata	133,455	0,026

Hasil dari pengujian geser spesimen dengan kode (F) menggunakan variasi electrode taper 7 mm, 1,8 volt dan waktu 1 detik dengan data dalam grafik berikut:



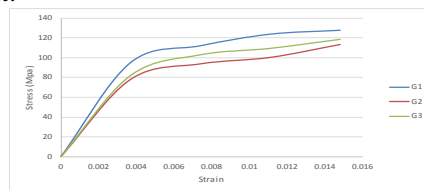
**Gambar 10.** Grafik Tegangan-Regangan Geser pada Sambungan Las (F)

Hasil dari pengujian geser yang di gambarkan dalam grafik pada gambar diatas menunjukkan data uji geser pada sambungan las dengan kode (F) mendapatkan nilai rata-rata tegangan geser dari ketiga spesimen sebesar 118,723 MPa dan nilai rata-rata regangan sebesar 0,011.

**Tabel 8.** Rata-rata dari Tiga Spesimen Uji Geser pada Sambungan Las (F)

Spesimen	Tegangan Geser Maks. (MPa)	Regangan
F1	128,688	0,011
F2	103,991	0,011
F3	123,489	0,011
Rata-rata	118,723	0,011

Hasil dari pengujian geser spesimen dengan kode (G) menggunakan variasi electrode taper 7 mm, 3 volt dan waktu 0,5 detik dengan data dalam grafik berikut:



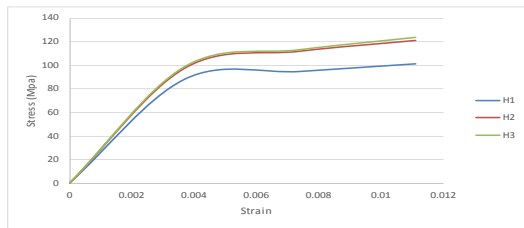
**Gambar 11.** Grafik Tegangan-Regangan Geser pada Sambungan Las (G)

Berdasarkan hasil dari pengujian geser yang di gambarkan pada grafik pada gambar diatas menunjukkan data uji geser pada sambungan las dengan kode (G) mendapatkan nilai rata-rata tegangan geser dari ketiga spesimen sebesar 119,589 MPa dan nilai rata-rata regangan sebesar 0,015.

**Tabel 9.** Rata-rata dari Tiga Spesimen Uji Geser pada Sambungan Las (G)

Spesimen	Tegangan Geser Maks. (MPa)	Regangan
G1	127,389	0,015
G2	113,090	0,015
G3	118,289	0,015
Rata-rata	119,589	0,015

Hasil dari pengujian geser spesimen dengan kode (H) menggunakan variasi electrode taper 7 mm, 3 volt dan waktu 1 detik dengan data dalam grafik berikut:



**Gambar 12.** Grafik Tegangan-Regangan Geser pada Sambungan Las (H)

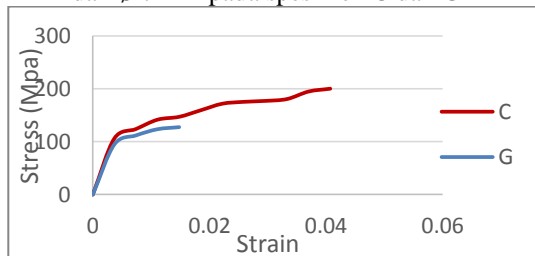
Berdasarkan dari pengujian geser yang di gambarkan pada grafik pada gambar diatas menunjukkan data uji geser pada sambungan las dengan kode (H) mendapatkan nilai rata-rata tegangan geser dari ketiga spesimen sebesar 115,256 MPa dan nilai rata-rata regangan sebesar 0,011.

**Tabel 10.** Rata-rata dari Tiga Spesimen Uji Geser pada Sambungan Las (H)

Spesimen	Tegangan Geser Maks. (MPa)	Regangan
H1	101,391	0,011
H2	120,889	0,011
H3	123,489	0,011
Rata-rata	115,256	0,011

Dalam pengelasan titik ada beberapa parameter yang mempengaruhi kekuatan sambungan las titik yaitu diameter taper, waktu penekanan, dan voltase. Berikut adalah hasil dari analisa pengaruh parameter terhadap uji geser.

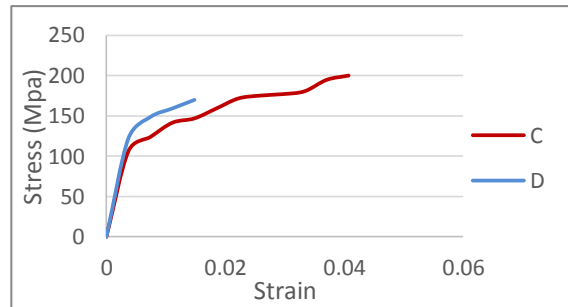
- Pengaruh perbedaan diameter elektrode taper  $\phi$  6 mm dan  $\phi$  7 mm pada spesimen C dan G



**Gambar 13.** Pengaruh Perbedaan Diameter Elektrode Taper  $\phi$  6 mm dan  $\phi$  7 mm Pada Spesimen C dan G

Pada perbedaan diameter elektrode taper ini didapatkan hasil teganggang geser maksimal dari grafik diatas yaitu spesimen C dengan parameter ( $\phi$  6 mm, 3 V, 0,5 detik) sebesar 199,929 MPa sedangkan spesimen G dengan parameter ( $\phi$  7 mm, 3 V, 0,5 detik) sebesar 127,389 MPa. Dapat dilihat dari nilai tegangan geser maksimal spesimen C lebih baik dibandingkan dengan spesimen G.

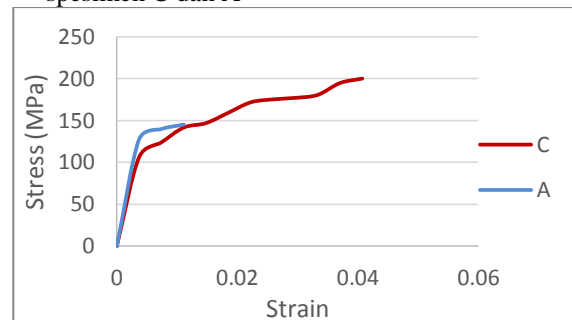
Pengaruh perbedaan waktu tekan 0,5 detik dan 1 detik pada spesimen C dan D. Pada perbedaan voltase ini didapatkan hasil teganggang geser maksimal dari grafik diatas yaitu spesimen C dengan parameter ( $\phi$  6 mm, 3 V, 0,5 detik) sebesar 199,929 MPa sedangkan spesimen A dengan parameter ( $\phi$  6 mm, 1,8 V, 0,5 detik) sebesar 145,081 MPa. Dapat dilihat dari nilai tegangan geser maksimal spesimen C lebih baik dibandingkan dengan spesimen A.



**Gambar 14.** Pengaruh Perbedaan Waktu Tekan 0,5 Detik dan 1 Detik Pada Spesimen C dan D

Pada perbedaan waktu tekan ini didapatkan hasil teganggang geser maksimal dari grafik diatas yaitu spesimen C dengan parameter ( $\phi$  6 mm, 3 V, 0,5 detik) sebesar 199,929 MPa sedangkan spesimen D dengan parameter ( $\phi$  6 mm, 3 V, 1 detik) sebesar 169,851 MPa. Dapat dilihat dari nilai tegangan geser maksimal spesimen C lebih baik dibandingkan dengan spesimen D. Menurut [8] semakin lama waktu tekan maka nilai tegangan geser maka akan cenderung menurun. Hal ini dikarenakan adanya kondisi las mengalami getas akibat dari arus yang besar dan waktu penekanan yang lama dan mengakibatkan hasil las mengalami kerapuhan. Dengan demikian waktu tekan 0,5 detik sangat tepat untuk pengelasan las titik pada penelitian ini.

- Pengaruh perbedaan voltase 3 V dan 1,8 V pada spesimen C dan A



**Gambar 15.** Pengaruh Perbedaan Voltase 3 V dan 1,8 V Pada Spesimen C dan A

Semakin besar tegangan yang digunakan maka semakin besar juga daya maksimum mesin yang digunakan serta berpengaruh pada arus yang dikeluarkan. Dari persamaan yang ada ( $H = I^2 \cdot R \cdot T$ ) yaitu semakin besar arus (I) yang diberikan maka nilai masukan panas (H) akan semakin besar. Dapat diartikan semakin besar tegangan sangat berpengaruh pada kekuatan sambungan las dalam proses pengelasan las titik.

## 5. Kesimpulan

Dari Penelitian yang dilakukan pada sambungan Dissimilar Galvalum – Baja Karbon ST 41 dengan variasi parameter input *spot welding design* dapat disimpulkan sebagai berikut: sambungan las titik yang telah dilakukan spesimen (C) menghasilkan nilai tegangan geser maksimum tertinggi dengan rata-rata nilai tegangan geser

sebesar 176,339 MPa dan rata-rata nilai pada regangan sebesar 0,041. Sedangkan spesimen (H) menghasilkan nilai tegangan geser terendah dengan rata-rata nilai tegangan geser terbilang 115,256 MPa dan rata-rata nilai regangan sebesar 0,011.

#### Daftar Pustaka

- [1] De, A., 2008, Spot welding. *Science and Technology of Welding and Joining*, **13(3)**, 213–214.  
<https://doi.org/10.1179/174329308X326318>
- [2] Fachruddin, Suryanto H., Solichin, 2016, *Pengaruh Variasi Arus Listrik Pengelasan Titik (Spot Welding) Terhadap Kekuatan Geser, Kekerasan Dan Struktur Mikro Pada Sambungan Dissimilar Baja Stainless Steel Aisi 304 Dengan Baja Karbon Rendah St 41*, Jurnal Teknik Mesin, Tahun 24, No. 2, 2.
- [3] Fallis A., 2013, 済無 No Title No Title. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.  
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- [4] IN Budiarsa., IDGA Subagia., IW Widhiada., NPG Suardana. (2015). *Characterization of Material Parameters by Reverse Finite Element Modelling Based on Dual Indenters Vickers and Spherical Indentation*. *Procesia Manufacturing* 2, 124-129
- [5] IN Budiarsa., IN Antara., IMG Karohika. (2019). *Indentation Size Effect of the Vickers Indentation to Improve the Accuracy of Inverse Materials Properties Modelling Based on Hardness Value*. *IOP Conference Series : Earth and Environmental Science* 248 (1), 012009
- [6] IN Budiarsa., ING Antara., IM Astika., IW Widhiada. 2019). *Determining Plastic Properties of Material Through Instrumented Indentation Approach*. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology* 10(1)
- [7] IW Widhiada., IN Budiarsa., IM Widyarta., T Colitore. (2019). *Comparison of PID and Fuzzy Logic to Control the Motions of Robotic Prosthetic Limbs*. *IOP Conference Series : Materials Science and Engineering* 673 (1), 012109
- [8] Sahrevy M.A., 2021, *Analisa Pengaruh Kuat Arus Dan Waktu Las Pada Proses Las Titik (Resistansi Spot Welding) Terhadap Kekuatan Tarik Pada Hasil Sambungan Las Pelat Ss 400*, 5(2), 114–119.

- [9] Santoso J., 2006, *Pengaruh Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik Dan Ketangguhan Las Smaw Dengan Elektroda E7018*, Skripsi, 1–125.





# Laju Perpindahan Panas Komposit Hibrida

I Gede Wawan Saputra, I.D.G Ary Subagia dan I Gusti Ketut Sukadana  
Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Badung  
(80361) Bali, Indonesia

## Abstrak

Pada penelitian ini digunakan serat jute dan serat fiberglass berbentuk anyaman sebagai penguat komposit dan dikombinasikan dengan matrik epoksi EPR 174 dan hardener EPH 555 sebagai pengikat komposit. Kombinasi serat jute dan fiberglass ditentukan sebanyak total 6 lapis dengan metode proses manufacturing yaitu Vacuum Injection Moulding (VIM). Alat uji Heat Transfer Experiment Base Unit TQ TD 1002A digunakan dalam proses pengujian untuk mengetahui laju perpindahan panas pada komposit hibrida. Pada penelitian ini dapat ditarik kesimpulan bahwa ketebalan, karakteristik material dan beda temperatur sangat berpengaruh pada laju perpindahan panas dalam mentransmisikan panas sebesar W/m.K. Spesimen kontrol jute merupakan spesimen dengan kemampuan mentransmisikan panas lebih tinggi 33,55% dari spesimen kontrol fiberglass dan 19,92% dari spesimen kontrol epoksi. Sedangkan pada variasi laminasi, spesimen HE1 memiliki kemampuan menghantarkan panas paling tinggi sebesar 25,49% dibandingkan spesimen variasi HE4 dengan nilai kemampuan menghantarkan panas sebesar 54,7299W/m.K.

Kata kunci: Komposit, Hibrida, Laju Perpindahan Panas

## Abstract

In this research, jute and fiberglass were used as composite reinforcement and combined with EPR 174 epoxy matrix and EPH 555 hardener as composite binder. The combination of jute fiber and fiberglass is determined for a total of 6 layers by the manufacturing process method, namely Vacuum Injection Molding (VIM). The Heat Transfer Experiment Test Equipment Base Unit TQ TD 1002A is used in the testing process to determine the rate of heat transfer in hybrid composites. In this study it can be concluded that the thickness, material characteristics and temperature difference greatly affect the rate of heat transfer in transmitting heat of W/m.K. Jute control specimens were specimens with 33.55% higher heat transferability than fiberglass control specimens and 19.92% epoxy control specimens. While in the laminate variation, the HE1 specimen has the highest heat conduction ability of 25.49% compared to the HE4 variation specimen with a heat transferability value of 54.7299W/m.K.

Keywords: Composite, Hybrid, Heat Transfer

## 1. Pendahuluan

Saat ini penelitian mengenai pengembangan komposit polimer berpenguat serat sangat sering dijumpai. Komposit menjadi populer dikarenakan beberapa keunggulan yang dimiliki melebihi bahan logam. Kelebihan tersebut diantaranya densiti yang rendah, tahan korosi oleh air maupun kimia dan dapat dibentuk sesuai kebutuhan pengguna [1].

Dalam upaya untuk mendapatkan kualitas lingkungan yang baik dan adanya upaya tekanan yang kuat, pemerintah dalam hal ini mendorong agar menggunakan bahan alami. Atas dasar arahan tersebut menjadikan pemanfaatan serat nanas, sabut kelapa, rami dan banyak lagi serat alam lainnya menjadi populer diaplikasikan sebagai bagian struktur dari komposit berbasis serat [2]. Diantara banyaknya serat alami tersebut, serat *jute* (*corchorus capsularis*) menjadi salah satu yang paling populer karena tersedia sangat luas dan mudah di daur ulang [3]. Karakteristik dari serat *jute* yang kuat dan elastis selain itu mudah didapat, harganya yang murah dan memiliki kadar air yang relatif lebih tinggi dibandingkan serat alami lainnya serta *bio-degradable* sehingga membuat serat ini ramah lingkungan [4]. Menurut Prabhakar [5] dibalik

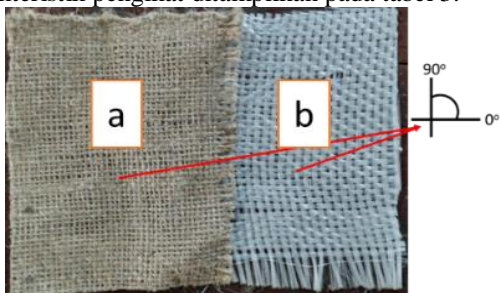
kelebihan dari serat *jute* tersebut tersimpan kelemahan serat alam yang pada umumnya adalah dapat melepaskan panas relatif lebih besar dibandingkan serat sintesis. Sehingga pemanfaatannya sebagai isolator panas, serat alam perlu dikombinasikan dengan serat hasil rekayasa manusia sehingga kemampuannya dapat disesuaikan sesuai kebutuhan terutama dapat dijadikan isolator panas yang baik. Pemilihan serat sintesis diharapkan dapat menutupi kelemahan serat *jute* sehingga dalam pembuatan kompositnya perlu di hibridkan.

Pada penelitian ini dilakukan kombinasi hibrida antara serat alam *jute* dengan serat sintesis *fiberglass* berbentuk anyaman yang akan digunakan sebagai penguat komposit. Sedangkan untuk pengikat serat digunakan matrik epoksi EPR 174 yang akan dicampurkan dengan hardener EPH 555 dengan rasio perbandingan matrik 2:1. Untuk mengetahui nilai laju perpindahan panas, pada spesimen komposit hibrida akan di uji menggunakan alat *Heat Transfer Experiment Base Unit TQ TD 1002A*. penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai laju perpindahan panas pada komposit hibrida dengan komposisi laminasi *fiberglass/jute/fiberglass*.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Bahan Penelitian

Gambar 1a dan b merupakan bahan pembentuk komposit hibrid dengan serat anyam *jute* dan *fiberglass* sebagai penguat dan resin epoksi sebagai pengikat. Karakteristik serat *jute* dan *fiberglass* ditampilkan masing-masing pada tabel 1 dan 2. Pengikat yang digunakan yaitu resin epoksi tipe *bisphenol A diglycidyl ether* (EPR 174) dengan *hardener* tipe *aliphatic polyamine* (EPH 555). Karakteristik pengikat ditampilkan pada tabel 3.



Gambar 1. a) Serat anyam *jute*. b) Serat anyam *fiberglass*

Tabel 1. Karakteristik serat *jute*

Elemen (satuan)	Nilai	Sitasi
Density (g/cm <sup>3</sup> )	1.3	[4, 5, 6]
Tensile strength (MPa)	450	[4, 5, 7]
Tensile modulus (GPa)	8-78	[8, 9]
Elongation (%)	1-1,8	[8, 9]

Tabel 2. Karakteristik serat *fiberglass*

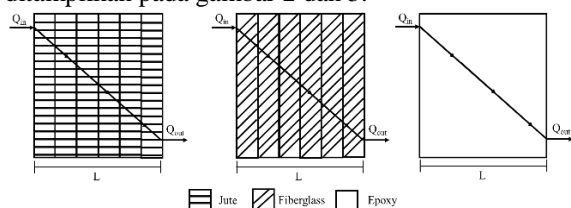
Elemen (satuan)	Nilai	Sitasi
Density (g/cm <sup>3</sup> )	2,5	[8, 9]
Tensile strength (MPa)	2000	[8, 9]
Tensile modulus (GPa)	70	[8, 9]
Elongation (%)	1,8-4,8	[8, 9]

Tabel 3. Karakteristik epoksi dan *hardener*

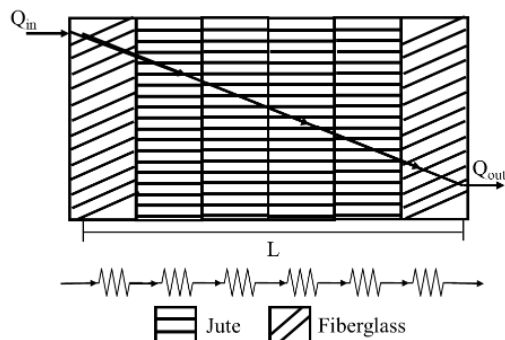
Elemen (satuan)	Nilai	Sitasi
Density (g/cm <sup>3</sup> )	1,16	[10, 11]
Tensile strength (MPa)	63,7	[12]
Viscosities (Pa's)	9-12	[12, 13]
Elongation (%)	3	[12]

### 2.2 Perpindahan Panas Konduksi

Proses perpindahan panas konduksi merupakan proses dimana energi panas mengalir dari daerah yang bersuhu tinggi ke bersuhu lebih rendah [14, 15, 16, 17]. Proses perpindahan panas pada spesimen ditampilkan pada gambar 2 dan 3.



Gambar 2. Proses terjadinya perpindahan panas secara konduksi pada spesimen uji (*jute*, *fiberglass* dan *epoxy*)



Gambar 3. Proses perpindahan panas secara konduksi pada salah satu variasi spesimen hibrida dengan kode  $HE_1 (F_1/J_4/F_1)$

Persamaan umum perpindahan panas secara konduksi yaitu:

$$q = kA \frac{\Delta T}{L} \quad (1)$$

Untuk mencari koefisien k dapat menggunakan persamaan:

$$k = \frac{q_x}{A} \cdot \frac{L}{\Delta T} \quad (2)$$

Untuk mencari koefisien A pada penelitian ini menggunakan persamaan luas lingkaran yaitu:

$$A = \frac{1}{4} \pi d^2 \quad (3)$$

Koefisien  $\Delta T$  dapat dicari menggunakan persamaan:

$$\Delta T = \bar{T}_{34} - \bar{T}_{45} \quad (4)$$

Keterangan pada persamaan (1), (2), (3), (4):

- q = Perpindahan panas (W)
- k = Konduktivitas termal (W/m.K)
- A = Luas penampang (m<sup>2</sup>)
- $\Delta T$  = Beda temperatur (K)
- L = Tebal spesimen (m<sup>2</sup>)
- q<sub>x</sub> = Daya listrik (W)
- $\pi$  = Phi (3,14)
- d = Diameter

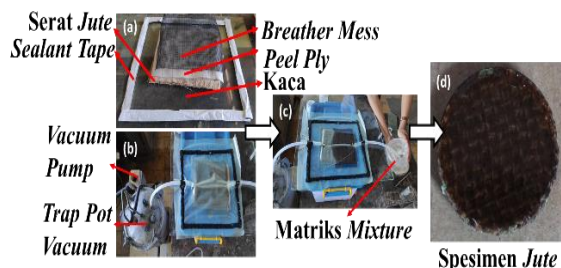
## 3. Metode Penelitian

### 3.1 Proses Fabrikasi Komposit

Pembuatan komposit menggunakan proses pencetakan dengan metode *Vacuum Injection Moulding* (VIM). Proses fabrikasi ditampilkan pada gambar 4.

Tahap pembuatan diawali dengan menyusun laminasi pada permukaan kaca (ditunjukkan pada gambar 4a). Tahapan selanjutnya adalah proses instalasi vakum dengan memasang *plastic bagging film*, pemasangan selang *in* yang akan dihubungkan dengan matriks dan selang *out* yang dihubungkan pada *trap pot vacuum* (ditunjukkan pada gambar 4b). Setelah itu dilakukan pencampuran matriks epoksi EPR 174 dengan *hardener* EPH 555 dengan ratio 2:1 lalu dilakukan proses injeksi matriks dengan menghidupkan mesin *vacuum pump* (ditunjukkan pada gambar 4c) lalu selang *in* dan *out* di kunci menggunakan tang penjepit sehingga moulding tetap dalam keadaan vakum. Setelah matriks pada moulding mengeras maka spesimen

komposit dapat di pisahkan dan dipotong berbentuk lingkaran sesuai standar alat uji *heat transfer experiment base unit TQ TD1002A* (ditunjukkan pada gambar 4d). Variasi laminasi komposit hibrida ditampilkan pada tabel 4.



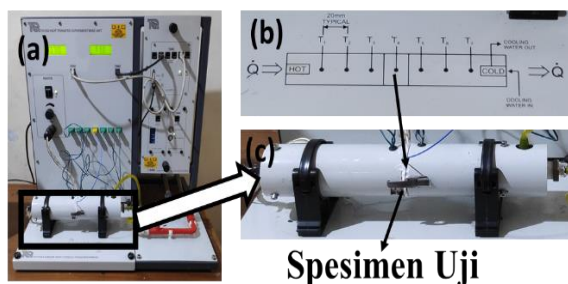
Gambar 4. Proses fabrikasi dengan VIM

Tabel 4. Variasi laminasi komposit hibrida

Notasi	Fiberglass	Jute	Fiberglass
J	-	6	-
F	6	-	-
E	-	-	-
HE <sub>1</sub>	1	4	1
HE <sub>2</sub>	2	3	1
HE <sub>3</sub>	3	2	1
HE <sub>4</sub>	4	1	1

### 3.2 Proses Pengujian Laju Perpindahan Panas

Proses pengujian menggunakan alat uji *Heat Transfer Experiment Base Unit Merk TQ TD1002A* seperti ditunjukkan pada gambar 5a. Spesimen uji di tempatkan pada T<sub>4</sub> (ditunjukkan pada gambar 5c) diantara T<sub>3</sub> dan T<sub>5</sub> seperti ditunjukkan pada gambar 5b. Setelah pemasangan spesimen uji hidupkan *power listrik* dan komputer selanjutnya *software techquipment VDAS* dibuka pada komputer. Kuat arus yang mengalir diukur menggunakan *ampere meter*. Data yang diambil yaitu pada saat keadaan *steady state*.



Gambar 5. Proses pengujian laju perpindahan panas

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1 Perpindahan Panas Pada Komposit Hibrida

Tabel 5 merupakan data hasil pengujian yang dilakukan dengan menggunakan alat uji *heat transfer experiment base unit TQ TD1002A*, data

tersebut diambil saat temperatur dalam kondisi *steady state*. Tabel 6 merupakan data hasil perhitungan.

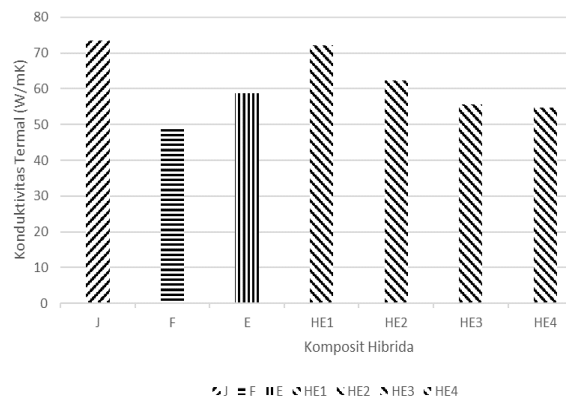
Tabel 5. Data hasil pengujian konduktivitas termal

Notasi	Temperatur °C						
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
J	30	29,9	29,8	27,4	25,9	25,9	25,9
F	29,8	29,7	29,7	27,7	26	26	26
E	29,8	29,7	29,6	27,9	26	26	26
HE <sub>1</sub>	30,2	30,1	30	28,3	26,2	26,2	26,2
HE <sub>2</sub>	29,8	29,7	29,6	27,8	25,9	25,9	25,9
HE <sub>3</sub>	29,7	29,6	29,5	27,4	25,8	25,8	25,8
HE <sub>4</sub>	29,8	29,7	29,6	28,2	26,3	26,3	26,3

Tabel 6. Data hasil perhitungan

Notasi	$\Delta T$ (K)	L (m)	q (Watt)	k (W/m.K)
J	1,95	0,0046	21,7976	73,4571
F	1,85	0,0029	21,7976	48,8131
E	1,8	0,0034	21,7976	58,8189
HE <sub>1</sub>	1,9	0,0044	21,7976	72,1123
HE <sub>2</sub>	1,85	0,0037	21,7976	62,2788
HE <sub>3</sub>	1,85	0,0033	21,7976	55,5459
HE <sub>4</sub>	1,65	0,0029	21,7976	54,7299

Pada tabel 6 ditampilkan hasil dari perhitungan berupa  $\Delta T$  yaitu beda temperatur (K), L yaitu tebal spesimen (m), q yaitu laju perpindahan panas (W), qx yaitu daya listrik dan k yaitu konduktivitas termal (W/m.K). Spesimen *jute* (J), *fiberglass* (F) dan epoksi (E) merupakan kontrol pada penelitian. Variasi spesimen uji Hibrida Epoksi (HE) yaitu: HE<sub>1</sub>, HE<sub>2</sub>, HE<sub>3</sub>, dan HE<sub>4</sub>. Laju perpindahan panas yang terjadi yaitu 21,7976W.



Pada spesimen kontrol, spesimen *jute* memiliki nilai laju perpindahan panas sebesar 21,7976W mampu mentransmisikan panas sebesar 33,55% lebih besar

dari spesimen kontrol *fiberglass* dan lebih besar 19,92% dari spesimen kontrol epoksi. Pada spesimen variasi HE<sub>1</sub> mampu mentransmisikan panas lebih kecil 1,8% dari kontrol *jute*, lebih besar 32,3% dari *fiberglass* dan 18,4% dari epoksi. Pada spesimen variasi HE<sub>2</sub> mampu mentransmisikan panas lebih kecil 15,2% dari kontrol *jute*, lebih besar 21,6% dari kontrol *fiberglass* dan 5,5% dari kontrol epoksi. Pada spesimen variasi HE<sub>3</sub> mampu mentransmisikan panas lebih kecil 24,4% dari kontrol *jute* lebih besar 12,1% dari kontrol *fiberglass* dan lebih kecil 5,6% dari kontrol epoksi. Pada spesimen variasi HE<sub>4</sub> mampu mentransmisikan panas lebih kecil 25,5% dari kontrol *jute*, lebih besar 10,8% dari kontrol *fiberglass* dan lebih kecil 6,9% dari kontrol epoksi.

Nilai presentase tersebut memperlihatkan bahwa kemampuan spesimen dalam mentransmisikan panas berpengaruh pada ketebalan spesimen dan beda temperatur. Semakin tipis sebuah spesimen uji maka semakin kecil kemampuan dalam mentransmisikan panas. Selain itu karakteristik material yang dimana serat *jute* yang merupakan serat alam pada kondisi standar memiliki nilai *moisture regain* sebesar 12,5% [20] menyebabkan kemampuan mentransmisikan panasnya lebih tinggi 33,55% dari serat sintesis *fiberglass* yang merupakan hasil rekayasa manusia yang tahan terhadap efek kelembaban. Selain itu nilai densitas pada sebuah material sangat mempengaruhi kemampuan mentransmisikan panas [21] pada penelitian ini densitas dari serat *jute* yaitu 1,3g/cm<sup>3</sup> lebih rendah dibandingkan nilai densitas *fiberglass* sebesar 2,5g/cm<sup>3</sup>.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa laju perpindahan panas pada suatu material di pengaruhi oleh ketebalan spesimen, karakteristik material penyusun komposit dan beda temperatur. Pada variasi HE<sub>1</sub> dengan laminasi (*fiberglass/jute/jute/jute/jute/fiberglass*) mampu mentransmisikan panas sebesar 72,1123W/mK dengan nilai laju perpindahan panas yaitu sebesar 21,7976W menjadikan variasi HE<sub>1</sub> dengan kemampuan mentransmisikan panas tertinggi pada variasi laminasi. Sedangkan kemampuan mentransmisikan panas paling rendah pada penelitian ini yaitu pada variasi HE<sub>4</sub> dengan laminasi (*fiberglass/fiberglass/fiberglass/fiberglass/jute/fiberglass*) dengan nilai sebesar 54,7299W/m.K dengan laju perpindahan panas sebesar 21,7976W.

## Daftar Pustaka

[1] Putri N. A. L., 2016, *Pengaruh Variasi Fraksi Volume Serat Sisal-Epoxy dan Struktur Serat Terhadap Karakteristik Tarik Komposit*, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.

- [2] M. E. Alves Fidelis, T. V. C. Pereira, O. d. F. M. Gomes, F. de Andrade Silva, and R. D. Toledo Filho, 2013, *The effect of fiber morphology on the tensile strength of natural fibers*, *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 2, pp. 149-157.
- [3] Y. G. Thyavihalli Girijappa, S. Mavinkere Rangappa, J. Parameswaranpillai, and S. Siengchin, 2019, *Natural Fibers as Sustainable and Renewable Resource for Development of Eco-Friendly Composites: A Comprehensive Review*, *Frontiers in Materials*, vol. 6.
- [4] Johnson S., Kang L., Akil H.M., 2016, *Mechanical behavior of jute hybrid bio-composites*. *Composites*
- [5] Prabhakar M.N., Shah A.U.R., Song J.-I., 2015, *A review on the flammability and flame retardant*.
- [6] S. Mahzan, M, Fitri, and M, Zaleha, 2017, *UV radiation effect towards mechanical properties of Natural Fibre Reinforced Composite material*, *A Review IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 165, p. 012021,
- [7] M. Shahriar Kabir, M, S, Hossain, M, Mia, M, N, Islam, M, M, Rahman, M, B, Hoque, et al., 2018, *Mechanical Properties of Gamma-Irradiated Natural Fiber Reinforced Composites, Nano Hybrids and Composites*, vol. 23, pp. 24-38.
- [8] D, Gon K., Das P., Paul, S, Maity, 2013, *Jute Composites as Wood Substitute*, *International Journal of Textile Science*, vol. 1, pp. 84-93.
- [9] S, M, R, Khalili, R, E, Farsani, and S, Rafiezadeh, 2011, *An experimental study on the behavior of PP/EPDM/JUTE composites in impact, tensile and bending loadings*, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, vol. 30, pp. 1341-1347,.
- [10] Dittenber, D,B, dan GangaRao, H, V, S., 2021, *Critical Review of Recent Publications On Use of Natural Composites In Infrastructure*, *Composites: Part A* 43:1419-1429
- [11] Barbero, E, J., 2011, *Introduction to Composite Material Design*, Boca Raton, FL: Taylor & Francis

- [12] A, Bajpai, J, R, Davidson, and C, Robert., 2021, *Studies on the Modification of Commercial Bisphenol-A-Based Epoxy Resin Using Different Multifunctional Epoxy Systems*, Applied Mechanics, vol. 2, pp. 419-430,.
- [13] S. Bhatia, S, Angra, S, Khan, 2019, *Mechanical and wear properties of epoxy matrix composite reinforced with varying ratios of solid glass microspheres*, Journal of Physics: Conference Series, vol. 1240, p. 012080,.
- [14] Z. Sun, L, Xu, Z, Chen, Y, Wang, R, Tusiime, C, Cheng, et al, 2019, *Enhancing the Mechanical and Thermal Properties of Epoxy Resin via Blending with Thermoplastic Polysulfone*, Polymers (Basel), vol. 11, Mar 11.
- [15] N, R, Paluvai, S, Mohanty, S, K, Nayak., 2015, *Epoxidized castor oil toughened Diglycidyl Ether of Bisphenol A epoxy nanocomposites: structure and property relationships*, Polymers for Advanced Technologies, vol. 26, pp. 1575-1586,.
- [16] Wahdani, M, K., 2020, *Analisa Numerik Perpindahan Panas Pada ACWH Dengan Honeycomb Sebagai Penghantar Panas*, Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhamadiyah Sumatera Utara, Medan.
- [17] Suarsana, K, dkk., 2017, *Karakterisasi Konduktivitas Termal dan Kekerasan Komposit Aluminium Matrik Penguat Hibrid SiCw/AL2O3*, Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bali.
- [18] Puspawan, A, dkk, 2020, *The Heat Transfer Flow Analysis Of Standard Plate Stell Of JIS G3106 Grade SM20B On Pre-Heating Joint Web Plate I-Girder Process Case Study In PT. Bukaka Teknik Utama, Bogor Regency, West Java Province*, Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Bengkulu, Bengkulu.
- [19] Suoth, Verna, A, dkk, 2019, *Kajian Eksperimen Perbandingan Nilai Konduktivitas Bahan Kuningan, Baja Tahan Karat dan Aluminium Menggunakan PASCO Heat Conduction Apparatus TD-8513*, Jurusan Fisika Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- [20] Dhakal, H. N., MacMullen, J., & Zhang, Z. Y. 2016. *Testing and Characterization of Natural Fiber-Reinforced Composites*. In *Natural Fiber Composites* (hal. 103–110).
- [21] Dhakal, H. N., MacMullen, J., & Zhang, Z. Y. 2016, *Testing and Characterization of Natural Fiber-Reinforced Composites*. In *Natural Fiber Composites* (hal. 103–110).



**I Gede Wawan Saputra** Lahir di Sukamaju, 14 Oktober 1997 merupakan mahasiswa yang sedang menempuh semester 9 dan sedang menyelesaikan tugas akhir di Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana tahun masuk 2017 dengan konsentrasi Rekayasa Manufaktur.