

ISSN 2302 – 5182



# TEKNIK DESAIN MEKANIKA

Jurnal Ilmiah Teknik Mesin

Volume 9 • Nomor 2 • APRIL • 2020 • Hal. 880-914

Program Studi Teknik Mesin – Fakultas Teknik  
Universitas Udayana



Program Studi Teknik Mesin  
Fakultas Teknik, Universitas Udayana  
Kampus Bukit Jimbaran, Bali 80362  
Telp./Fax.: +62 361 703321  
<http://www.mesin.unud.ac.id>



JITM-TDM

Volume 9

Nomor 2

Hal. 880-914

Badung, April 2020

ISSN 2302-5182

**TEKNIK DESAIN MEKANIKA**  
Jurnal Ilmiah Teknik Mesin



**Volume 9, Nomor 2, April 2020, Hal. 880 – 914**

**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 9 Nomor 2, April 2020 ini. Penerbitan jurnal ini bertujuan menyediakan media publikasi untuk hasil-hasil penelitian maupun kajian aplikasi di bidang Teknik Mesin, baik untuk peneliti di kalangan internal maupun eksternal kampus Universitas Udayana, baik dari kalangan mahasiswa maupun dosen.

Dewan redaksi mengucapkan terima kasih atas dukungan dan motivasi dari rekan-rekan di kampus serta pimpinan program studi dalam merealisasikan terbitnya jurnal ini. Dewan redaksi juga menyampaikan terima kasih atas partisipasi rekan-rekan peneliti yang mengirimkan naskahnya untuk dipublikasikan via Jurnal Teknik Mesin Universitas Udayana.

Dalam penerbitan JITM TEKNIK DESAIN MEKANIKA Volume 9 Nomor 2 ini, disajikan 8 artikel, dalam berbagai topik meliputi gasifikasi/biogas, transmisi, studi numerik uji tarik, material, pompa, pembakaran, kolektor surya, pompa kalor dan komposit.

Akhirnya, Dewan redaksi berharap semoga artikel-artikel dalam jurnal ini bermanfaat bagi pembaca dan memperkuat semangat untuk ikut dalam pengembangan ilmu dan teknologi terutama di bidang Teknik Mesin. Kami tunggu naskah-naskah untuk penerbitan berikutnya.

**Dewan Redaksi**

# TEKNIK DESAIN MEKANIKA

## Jurnal Ilmiah Teknik Mesin

Volume 9 • Nomor 2 • April 2020 • Hal. 880 – 914

### Daftar Isi

<b>Analisa Performa Mesin Kendaraan Bermotor Dengan Memanfaatkan Bioetanol Dari Bahan Baku Sorgum Sebagai Bahan Bakar Alternatif Campuran Premium</b> Putu Andre Wiryananta, I Gusti Bagus Wijaya Kusuma dan Dr. A. A. Istri A. Sri Komaladewi	880 - 883
<b>Analisa Performa Mesin Kendaraan Bermotor dengan Memanfaatkan Biogas Dari Bahan Baku Sorgum sebagai Bahan Bakar Alternatif</b> I Made Rai Arta Wiguna, I Gusti Bagus Wijaya Kusuma dan Hendra Wijaksana	884 - 887
<b>Uji Eksperimen Desain Piezoelektrik Kuarsa dengan Variasi Beban terhadap Keluaran Arus dan Tegangan</b> I Ketut Adi Pramayoga, I Gusti Ngurah Nitya Santhiarsa, dan Ni Made Dwidiani	888 - 891
<b>Desain Piezoelektrik Dengan Variasi Diameter Penampang Kuarsa Terhadap Keluaran Arus Dan Tegangan</b> Ida Bagus Dyota Aruna Bhayu, I Gusti Ngurah Nitya Santhiarsa dan Ni Made Dwidiani	892 - 896
<b>Variasi Waktu Aktivasi Kimia Terhadap Karakteristik Karbon Aktif Ampas Tebu Dan Adsorpsi <i>Methylene Blue</i></b> Riza Surya Mahendra, Ni Made Dwidiani, dan I.G.N.Nitya Santhiarsa	897 - 901
<b>Karakterisasi Karbon Aktif dari Kulit Kopi dengan Variasi Konsentrasi Aktivator sebagai Adsorben Zat Warna Metilen Biru</b> Relius Zakaria Sibarani, Ni Made Dwidiani, IGN Nitya Santhiarsa	902 - 907
<b>Analisa Penukar Panas Ringkas pada Kondensor di Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap</b> I Made Oka Nugraha, I Gusti Bagus Wijaya Kusuma dan A.A.I.A.S. Komaladewi	908 - 911
<b>Analisa Redesain Penukar Panas Ringkas pada <i>Heat Recovery Steam Generator</i> di PLTGU</b> Dewa Gede Adi Darma Saputra, I Gusti Bagus Wijaya Kusuma dan N. Suarnadwipa	912 - 914

# Analisa Performa Mesin Kendaraan Bermotor Dengan Memanfaatkan Bioetanol Dari Bahan Baku Sorgum Sebagai Bahan Bakar Alternatif Campuran Premium

Putu Andre Wiryananta, I Gusti Bagus Wijaya Kusuma dan Dr. A. A. Istri A. Sri Komaladewi

Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

---

## Abstrak

*Pada penelitian kali ini, upaya yang dilakukan adalah memanfaatkan bioethanol sebagai bahan bakar alternative campuran dengan premium. Penelitian kali ini memanfaatkan batang sorgum sebagai bahan utama dari proses pembuatan bioethanol. Diketahui batang sorgum mengandung kadar glukosa, karbohidrat dan selulosa yang tinggi sehingga dapat diproses menjadi bioethanol dengan kadar alcohol yang mencapai 90% hingga 95%. Pemanfaatan bioethanol sebagai campuran dari bahan bakar jenis premium dapat dilakukan dengan langsung mencampurkan bioethanol dengan premium, sehingga dapat meningkatkan efisiensi pembakaran. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan kadar alcohol yang terdapat dalam bioethanol sebagai campuran bahan bakar premium untuk mendapatkan performa yang lebih baik. Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan, diketahui bahwa performa yang dihasilkan oleh bahan bakar campuran premium dengan bioethanol dengan kadar 95% e10 menghasilkan torsi maksimal sebesar 8,8 Nm pada putaran RPM 6000, daya maksimal yang dihasilkan sebesar 4,9 HP pada putaran RPM 6000 dan SFC minimal yang didapatkan dengan bahan bakar premium 95% e10 yang dihasilkan sebesar 0,021 kg/kwH.*

*Kata kunci: sorgum, bioethanol, daya, torsi, SFC*

## Abstract

*In this research, the efforts made are utilizing bioethanol as an alternative fuel with a mixture of premium. This research uses sorghum as the main ingredient in the process of making bioethanol. It is known that sorghum stems contain high levels of glucose, carbohydrates and cellulose so that they can be processed into bioethanol with alcohol content reaching 90% to 95%. Utilization of bioethanol as a mixture of premium fuel types can be done by directly mixing bioethanol with premium, so as to increase combustion efficiency. This research was conducted by varying the alcohol content contained in bioethanol as a mixture of premium fuels to get better performance. From the results of research that has been done, it is known that the performance produced by premium mixed fuel with bioethanol with a level of 95% e10 produces a maximum torque of 8.8 Nm at 6000 RPM rotation, the maximum power produced is 4.9 HP at 6000 RPM rotation and minimum SFC obtained with premium fuel 95% e10 produced at 0.021 kg / kwH.*

*Keywords: sorghum, bioethanol, horsepower, torque, SFC*

---

## 1. Pendahuluan

Bioetanol merupakan salah satu jenis bioenergi yang dapat dihasilkan dari berbagai jenis tanaman dan diketahui dapat menjadi bahan bakar terbarukan yang memiliki nilai ekonomi yang tinggi, salah satunya bioetanol yang dibuat dari batang sorgum karena memiliki kandungan glukosa, karbohidrat dan selulosa yang tinggi. Proses pembuatan bioetanol dari batang sorgum sendiri melewati beberapa tahapan, salah satunya adalah dilakukan proses fermentasi dari batang sorgum yang sudah diperas lalu diambil niranya. Sehingga bioetanol dapat digunakan sebagai bahan bakar alternative campuran dengan premium.

Penggunaan bioetanol sebagai bahan campuran dengan premium memiliki beberapa keunggulan, diantaranya dapat meningkatkan efisiensi pembakaran pada ruang bakar dan meminimalisir emisi gas saat proses pembuangan [1]. Campuran

bioetanol dan premium dapat meningkatkan nilai oktan bahan bakar karena alcohol yang terkandung pada bioetanol berfungsi menaikkan nilai oktan dari bahan bakar campuran itu sendiri [2]. Dengan meningkatnya nilai oktan, maka tekanan dan temperatur pembakaran akan semakin meningkat sehingga proses pembakaran pada ruang bakar menjadi lebih baik. Dalam hal ini, adapun permasalahan yang akan dikaji yaitu, bagaimana performa mesin kendaraan bermotor dengan memanfaatkan bahan bakar premium yang dicampur dengan bioetanol berbahan dasar batang sorgum.

Adapun batasan masalah yang ditetapkan pada penelitian kali ini meliputi:

1. Bioetanol dibuat dari batang sorgum.
2. Motor kendaraan jenis X tahun 2002 bertipe transmisi manual.

3. Pembakaran di ruang bakar diasumsikan sempurna.

## 2. Dasar Teori

Torsi dan daya pada motor bakar didapatkan dari hasil pengkonversian dari energi panas saar pembakaran menjadi energi mekanik. Torsi dapat diartikan sebagai ukuran kemampuan mesin untuk melakukan unjuk kerja. Sedangkan daya diartikan sebagai tenaga yang dihasilkan saat proses pembakaran per satuan waktu [3].

*Mass flow rate* atau laju aliran massa adalah massa suatu fluida yang mengalir dalam per satuan waktu. Untuk menghitung laju aliran massa dapat ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\dot{m} = \rho \cdot v \cdot A \quad (1)$$

Dimana :

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

$\rho$  = Massa jenis (kg/m<sup>3</sup>)

$v$  = Kecepatan aliran (m<sup>3</sup>)

$A$  = Luas penampang (m<sup>2</sup>)

*Volumetric flow rate* atau debit aliran adalah volume aliran yang mengalir per satuan waktu. Untuk menghitung debit aliran dapat ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = A \cdot v \quad (2)$$

Dimana :

$Q$  = Debit aliran (m<sup>3</sup>/s)

$A$  = Luas penampang (m<sup>2</sup>)

$V$  = Kecepatan aliran (m/s)

Laju aliran massa dan debit aliran memiliki persamaan yaitu sama-sama dipengaruhi oleh luas bidang yang di aliri dan kecepatan aliran tersebut, hanya saja pada laju aliran massa di pengaruhi oleh massa jenis aliran yang mengalir pada penampang tersebut sedangkan debit aliran tidak dipengaruhi oleh massa jenis aliran tersebut. Maka persamaan laju aliran massa dan debit aliran jika  $Q = v \cdot A$  adalah :

$$\dot{m} = \rho \cdot Q \quad (3)$$

Dimana :

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

$\rho$  = Massa jenis (kg/m<sup>3</sup>)

$Q$  = Debit aliran (m<sup>3</sup>/s)

SFC atau *Specific Fuel Consumption* dapat diartikan banyaknya bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan daya. Untuk menghitung SFC dapat ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$SFC = \frac{\dot{m}}{P} \quad (\text{kg/kwh}) \quad (4)$$

Dimana :

$\dot{m}$  = laju aliran massa (kg/jam)

$P$  = daya mesin (kW)

## 3. Metode Penelitian

Adapun beberapa alat dan bahan penelitian yang diperlukan pada proses pengujian bioetanol dengan bahan baku sorgum sehingga dapat menjadi bahan bakar campuran bensin adalah sebagai berikut:

1. Bioetanol dari batang sorgum dengan kadar alcohol 90% hingga 95%
2. Bahan bakar pertamax sebagai pembanding dan premium sebagai pencampur bioethanol.
3. Sepeda motor bertransmisi manual sebagai alat pengujian bahan bakar.
4. Dynamometer sebagai alat untuk penguji torsi dan daya kendaraan.
5. Flowmeter untuk menguji pemakaian bahan bakar.
6. Stopwatch sebagai alat untuk menghitung waktu.

## 4. Hasil dan Pembahasan

Torsi yang didapatkan saat pengujian dengan menggunakan *dynotest* sebagai berikut:

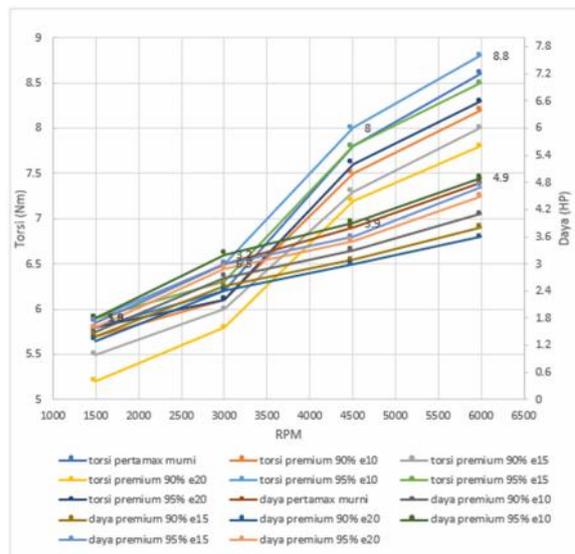
**Tabel 1.** Data torsi setiap bahan bakar

RPM	Pertamax	Premium 90% e10	Premium 90% e15	Premium 90% e20	Premium 95% e10	Premium 95% e15	Premium 95% e20
1500	5.8	5.7	5.5	5.2	5.9	5.9	5.8
3000	6.2	6.1	6	5.8	6.5	6.3	6.1
4500	7.8	7.5	7.3	7.2	8	7.8	7.6
6000	8.6	8.2	8	7.8	8.8	8.5	8.3

Daya yang didapatkan saat pengujian dengan *dynotest* sebagai berikut:

**Tabel 2.** Data daya setiap bahan bakar

RPM	Pertamax	Premium 90% e10	Premium 90% e15	Premium 90% e20	Premium 95% e10	Premium 95% e15	Premium 95% e20
1500	1.7	1.5	1.4	1.3	1.8	1.7	1.6
3000	3	2.7	2.5	2.4	3.2	3	2.9
4500	3.8	3.3	3.1	3	3.9	3.6	3.5
6000	4.8	4.1	3.8	3.6	4.9	4.7	4.5



**Gambar 1.** Grafik Torsi dan Daya

Dari gambar grafik torsi dan daya terhadap putaran (gambar 1) dapat diketahui bahwa pada putaran 1500 sampai 6000 mengalami kenaikan torsi dan daya pada setiap jenis bahan bakar yang diuji. Pada range RPM 6000, dapat dilihat torsi dan daya tertinggi diperoleh dengan menggunakan bahan bakar campuran premium bioethanol kadar alcohol 95% e10. Adapun besarnya torsi dan daya maksimal yang didapatkan oleh bahan bakar campuran premium

bioethanol kadar alkohol 95% e10 mencapai angka torsi sebesar 8,8 Nm pada putaran RPM 6000 dan daya sebesar 4,9 HP pada RPM 6000. Sedangkan besar torsi dan daya maksimal yang diperoleh dari bahan bakar pertamax murni hanya mencapai angka torsi 8,6 Nm dan daya 4,8 HP pada putaran 6000 RPM.

Meningkatnya angka torsi dan daya pada bahan bakar campuran disebabkan oleh alkohol yang terdapat pada bahan bakar campuran premium dan etanol. Fungsi etanol bahan bakar campuran premium adalah sebagai *octane booster*, dengan kata lain etanol mampu meningkatkan nilai oktan secara positif terhadap efisiensi bahan bakar. Dengan meningkatnya nilai oktan, tekanan dan temperatur pembakaran akan semakin meningkat yang menyebabkan proses pembakaran menjadi lebih baik.

SFC merupakan jumlah bahan bakar yang dikonsumsi atau digunakan mesin agar dapat menghasilkan daya efektif. Pada tabel di bawah ini dapat dilihat hasil perolehan data untuk menentukan SFC pada saat melakukan pengujian.

Data konsumsi bahan bakar didapat dari pengujian dengan melakukan penghitungan waktu konsumsi bahan bakar sebanyak 100 ml pada setiap RPM dengan menggunakan stopwatch dan gelas ukur. Sehingga diperoleh waktu untuk penghitungan SFC pada setiap jenis bahan bakar.

**Tabel 3.** Data waktu SFC

Jenis bahan bakar	RPM			
	1500	3000	4500	6000
Pertamax murni	282	236	205	227
Premium 90% e10	274	228	197	219
Premium 90% e15	258	211	181	203
Premium 90% e20	242	195	176	193
Premium 95% e10	308	262	231	253
Premium 95% e15	278	232	201	223
Premium 95% e20	263	217	186	218

Berdasarkan data tabel 3, nilai  $\dot{m}$  pada tabel 4 didapat dari perhitungan rumus debit dan laju aliran massa dengan menggunakan persamaan (3). Adapun massa jenis dari premium e10 sebesar 0,7512 kg/l, premium e15 sebesar 0,7532 kg/l, dan premium e20 sebesar 0,7554 kg/l.

**Tabel 4.** Data laju aliran massa bahan bakar ( $\dot{m}$ )

RPM	Pertamax	Premium 90% e10	Premium 90% e15	Premium 90% e20	Premium 95% e10	Premium 95% e15	Premium 95% e20
1500	0.0926	0.0988	0.1059	0.1127	0.0883	0.0977	0.1034
3000	0.1112	0.1192	0.1297	0.1398	0.1043	0.1175	0.1259
4500	0.1291	0.1391	0.1504	0.1573	0.1173	0.1367	0.1481
6000	0.1147	0.1252	0.1343	0.1425	0.1073	0.1233	0.1259

Pada tabel 4 diatas, nilai  $\dot{m}$  dari pertamax murni dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (3) dengan perhitungan sebagai berikut :

$$Q = \frac{10 \text{ mL}}{282 \text{ detik}} = \frac{0,01 \text{ L}}{0,078 \text{ jam}}$$

$$\dot{m} = Q \cdot \rho$$

$$\dot{m} = \frac{0,01 \text{ L}}{0,078 \text{ jam}} \times 0,723 \text{ kg/L}$$

$$\dot{m} = 0,0926 \text{ kg/jam}$$

**Tabel 5.** Data SFC dari setiap bahan bakar

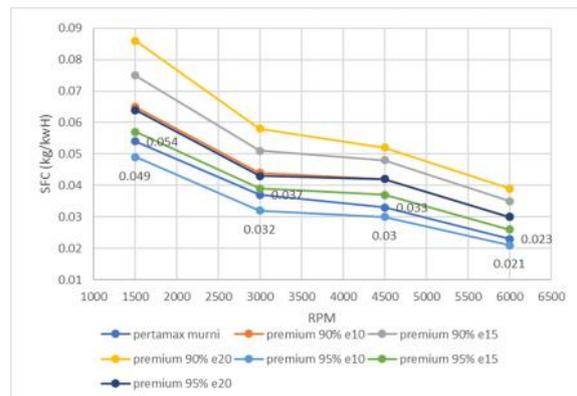
RPM	Pertamax	Premium 90% e10	Premium 90% e15	Premium 90% e20	Premium 95% e10	Premium 95% e15	Premium 95% e20
1500	0.054	0.065	0.075	0.086	0.049	0.057	0.064
3000	0.037	0.044	0.051	0.058	0.032	0.039	0.043
4500	0.033	0.042	0.048	0.052	0.030	0.037	0.042
6000	0.023	0.030	0.035	0.039	0.021	0.026	0.027

Dari data daya pada tabel 2, nilai SFC pertamax murni pada RPM 1500 dapat ditentukan menggunakan persamaan (4) dengan contoh perhitungan sebagai berikut :

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

$$SFC = \frac{0,0926 \text{ kg/jam}}{1,7 \text{ kW}}$$

$$SFC = 0,054 \text{ kg/kwH}$$



**Gambar 2.** Grafik data SFC setiap bahan bakar

Berdasarkan gambar 2, dapat diketahui bahan bakar premium dengan campuran bioethanol kadar alkohol 95% e10 memiliki SFC paling rendah pada RPM 6000 dengan SFC 0,021 kg/kwH dengan menghasilkan daya 4,9 HP. Sedangkan pada bahan bakar pertamax murni memiliki SFC sebesar 0,023 dengan daya 4,8 yang memiliki selisih yang sangat kecil dengan bahan bakar premium campuran bioethanol kadar 95% e10. Penurunan nilai SFC ini dikarenakan meningkatnya nilai oktan sehingga menyebabkan pembakaran menjadi lebih baik.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa performa yang dihasilkan oleh bahan bakar campuran premium dengan bioethanol sudah bisa melampaui atau menyamai performa yang dihasilkan dari bahan bakar pertamax murni. Berdasarkan variasi kadar alkohol dan takaran campuran dari bioethanol tersebut didapatkan performa sebagai berikut :

1. Torsi tertinggi yang dihasilkan sebesar 8,7 Nm pada putaran RPM 6000 dengan bahan bakar campuran bioethanol 95% e10.
2. Daya tertinggi yang dihasilkan sebesar 4,975 HP pada putaran RPM 6000 dengan bahan bakar campuran bioethanol 95% e10.
3. SFC terendah didapatkan dengan bahan bakar premium 95% e10 yang dihasilkan sebesar 0,021 kg/kwH pada RPM 6000.
4. Dari data yang didapat, diketahui bahwa bioethanol dengan kadar alcohol semakin tinggi

tetapi persentase campuran dengan bahan bakar paling sedikit memiliki performa paling baik. Hal itu terjadi karena pada campuran yang semakin tinggi, kadar air dari bioethanol itu sendiri juga semakin tinggi.

#### Daftar Pustaka

- [1] Prasetyo, I. (2018) “*Analisa Performa Mesin dan Kadar Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Dengan Memanfaatkan Bioetanol dari Bahan Baku Singkong Sebagai Bahan Alternatif Campuran Peralite,*” *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), hal. 1689–1699. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- [2] Gede Wiratmaja (2011) *Proses Fermentasi Limbah Rumpuk Laut Eucheuma Cottonii Sebagai Tahap Awal Pembuatan Etanol Generasi Kedua*. Universitas Udayana.
- [3] Heywood, J.B., 1998, *Internal ombustion Engine Fundamentals, Mc Graw Hill Inc.*, New York

	<p><b>Putu Andre Wiryananta</b> menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana pada Program Studi Teknik Mesin, pada tahun 2020</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan bahan bakar dan motor bakar dalam.</p>	

# Analisa Performa Mesin Kendaraan Bermotor dengan Memanfaatkan Biogas Dari Bahan Baku Sorgum sebagai Bahan Bakar Alternatif

I Made Rai Arta Wiguna, I Gusti Bagus Wijaya Kusuma dan Hendra Wijaksana

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

---

## Abstrak

Penggunaan bahan bakar fosil secara terus-menerus berdampak buruk terhadap lingkungan, termasuk diantaranya pencemaran udara, emisi gas rumah kaca dan pemanasan global. Oleh karena itu sudah saatnya semua negara berupaya untuk mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi fosil dan beralih ke sumber energi alternatif berbahan baku nabati yang sifatnya terbarukan dan ramah lingkungan. Biogas merupakan salah satu bentuk energi alternatif yang memiliki prospek untuk dikembangkan. Keunggulan biogas dibandingkan dengan bahan bakar minyak yang berasal dari fosil adalah sifat yang ramah lingkungan dan dapat diperbaharui. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana peforma kendaraan bermotor dengan memanfaatkan biogas dari bahan baku sorgum sebagai bahan bakar alternatifnya dengan memvariasikan AFR (air fuel ratio) antara Biogas dengan udara. Berdasarkan hasil Analisa unjuk kerja yang telah dihasilkan dari beberapa AFR didapatkan torsi dan daya paling baik yang dihasilkan oleh mesin kendaraan bermotor pada AFR 1:4 dengan nilai torsi sebesar 6,4 Nm, daya sebesar 4,2 HP dan SFC paling baik sebesar 1,52 kg/kWh.

Kata Kunci : Sorgum, Biogas, Torsi, Daya, AFR, SFC.

## Abstract

The use of fossil fuels continuously has a negative impact on the environment, including issuing air pollution, greenhouse gas emissions and global warming. Therefore, it has gone beyond all countries that refuse to replace fossil energy sources and switch to alternative energy sources that are made from plant-based ingredients that are renewable and environmentally friendly. Biogas is a form of energy that has prospects for development. The advantages of biogas compared to fossil fuels are environmentally friendly and renewable. This research was conducted to find out how the performance of motorized vehicles by using biogas from sorghum raw material as an alternative fuel by varying the AFR (air fuel ratio) between Biogas and air. Based on the performance analysis results that have been produced from several AFR, the best torque and power produced by motor vehicle engines at AFR 1: 4 with a torque value of 6.4 Nm, a power of 4.2 HP and SFC at best of 1, 52 kg / kWh.

Keywords: Sorghum, Biogas, Torque, Power, AFR, SFC.

---

## 1. Pendahuluan

Kebutuhan bahan bakar fosil seperti minyak bumi semakin hari akan semakin bertambah, sedangkan keberadaan sumber bahan bakar fosil akan terus berkurang, maka dari itu perlu dicarinya bahan bakar alternatif yang bisa menggantikan seperti Biogas. Bahan bakar biogas yang bisa didapatkan dari limbah tanaman maupun hewan menjadi pilihan yang paling tepat untuk menjadi sumber energi alternative. Sorgum menjadi salah satu tanaman yang berpotensi untuk dijadikan bahan baku dasar pembuatan biogas. Hal ini dikarnakan tanaman sorgum dapat tumbuh pada kondisi ekstrim, bagian bijinya bisa dijadikan bahan pakan pengganti nasi sedangkan batangnya bisa dijadikan bahan baku dasar pembuatan biogas.

Dalam hal ini adapun permasalahan yang akan dikaji , yaitu bagaimana performa mesin kendaraan bermotor dengan memanfaatkan biogas dari bahan baku sorgum. Dengan permasalahan yang ada diharapkan kita dapat mengetahui bagaimana

performa mesin kendraan bermotor saat menggunakan bahan bakar alternatif sebagai langkah awal untuk menghemat penggunaan bahan bakar fosil yang setiap hari semakin berkurang.

Beberapa batasan ditetapkan dalam penelitian ini meliputi:

1. Biogas yang digunakan adalah biogas yang dibuat dari batang tanaman sorgum.
2. Mesin kendaraan yang digunakan bertipe transmisi manual berbahan bakar premium.
3. Pembakaran diruang bakar diasumsikan sempurna.
4. Aliran fluida diasumsikan *stady sate*.
5. Kondisi lingkungan diasumsikan sama saat melakukan pengujian.

## 2. Dasar Teori

Produksi biji sorgum menghasilkan batang sorgum sebagai limbah padat yang berpotensi digunakan sebagai bahan baku untuk produksi bahan bakar biogas [1]. Komposisi terbesar biogas yang

dihasilkan dari fermentasi adalah gas metana (CH<sub>4</sub>) dan gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dengan nilai komposisi yang ditampilkan pada Tabel 1.

**Tabel 1. Komposisi Biogas**

No.	Gas	Hadil (1981)	Price (1981)
1	Metana (CH <sub>4</sub> )	54-70	65 - 75
2	Karbondioksida (CO <sub>2</sub> )	27-35	25 - 30
3	Nitrogen (N <sub>2</sub> )	0.5 - 2.0	Kurang dari 1.0
4	Hidrogen (H <sub>2</sub> )	-	Kurang dari 1.0
5	Karbon Monoksida (CO)	0.1	-
6	Hidrogen Sulfida (H <sub>2</sub> S)	kecil	Kurang dari 1.0

Sumber: (Wahyuni 2011)

untuk bahan bakar, oleh karna itu biogas dapat digunakan sebagai keperluan penerangan, memasak, menggerakkan mesin dan sebagainya. Nilai fisik pada biogas untuk menjadi sumber energi dapat terlihat pada Tabel 2.

**Tabel 2. Komposisi Bahan Bakar Biogas**

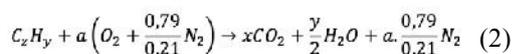
Sifat Fisika	Keterangan
Nilai Methane	134
Nilai Kalor (kJ/kg)	18000
Massa Jenis Normal	1.16

Pada pembakaran motor empat langkah bahan bakar biogas juga memerlukan proses yang sama seperti bahan bakar premium pada umumnya. Langkah kerja motor empat langkah adalah yang pertama langkah isap, kemudian langkah kompresi selanjutnya diteruskan dengan langkah kerja dan yang terakhir adalah langkah buang [2].

Perbandingan jumlah udara dan bahan bakar (AFR) berperan penting dalam proses pembakaran didalam ruang bakar saat menggunakan bahan bakar biogas. Perbandingan ini dapat dibandingkan baik dalam jumlah massa ataupun dalam jumlah volume.

$$AFR = \frac{m_{udara}}{m_{fuel}} = \frac{v_{udara}}{v_{fuel}} \quad (1)$$

AFR dapat diketahui dengan cara menghitung jumlah atom C, H dan O pada suatu reaksi pembakaran. Reaksi pembakaran menggunakan udara kering pada umumnya berumuskan sebagai berikut:



Proses pembakaran akan menghasilkan Torsi dan Daya serta Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC), dimana Torsi diartikan besarnya momen putar pada poros output mesin yang menyebabkan adanya pembebanan dengan sejumlah massa (kg), dan daya diartikan sebagai besarnya tenaga yang dihasilkan motor tiap satu satuan waktu.

Besarnya torsi dapat diperoleh dengan persamaan :

$$T = m \cdot g \cdot L \quad (N.m) \quad (3)$$

Dengan,

- m = massa yang terukur pada dinamometer (kg)
- g = gravitasi bumi (m/s<sup>2</sup>)
- L = panjang lengan dynamometer (m)

Dan daya yang dihasilkan oleh motor dapat dihitung dengan persamaan :

$$P = \frac{2\pi nT}{6000} \quad (kW) \quad (4)$$

Dengan,

T = torsi

n = putaran mesin

*Specific Fuel Consumption (SFC)* adalah nilai ekonomis sebuah mesin yang dilihat dari kinerja mesin tersebut, dalam waktu tertentu dihitung jumlah bahan bakar yang dihabiskan untuk menghasilkan sejumlah daya. SFC dapat diperoleh dengan persamaan :

$$SFC = \frac{\dot{m}_f}{P_b} \quad (5)$$

Dimana :

SFC = Specific Fuel Consumption (kg/kWh)

$\dot{m}_f$  = Laju aliran massa bahan bakar (kg/h)

$P_b$  = Daya motor (kWh)

### 3. Metode Penelitian

Pengujian dan penelitian kali ini mempergunakan peralatan dan bahan sebagai berikut :

1. Bahan bakar biogas
2. Bahan bakar minyak premium sebagai pembanding biogas.
3. Sepeda motor bensin manual sebagai alat untuk proses pengujian bahan bakar biogas.
4. Tabung Gas Freon bekas untuk penyimpanan Biogas.
5. Kompresor udara dan kelengkapan seperti nozzle dengan indikator bar untuk memasukan biogas kedalam tabung Freon.
6. Selang untuk menyalurkan biogas dari tabung Freon ke karburator.
7. Timbangan untuk mengukur berat tabung sebelum dan sesudah terisi biogas.
8. Plat besi dengan lubang kecil untuk saluran udara pada karburator (untuk mengatur air-fuel ratio).
9. Dynamometer sebagai alat untuk mengambil data daya dan torsi mesin.

Adapun langkah penelitian dalam proses pengambilan data pengujian biogas berbahan dasar sorgum sebagai alternatif pengganti bahan bakar minyak adalah sebagai berikut :

1. Timbang berat tabung Freon kosong sebelum diisi oleh bahan bakar biogas.
2. Biogas yang ada dimasukan kedalam tabung Freon dengan menggunakan kompresor udara.
3. Timbang kembali berat tabung Freon yang telah terisi dengan bahan bakar biogas.

4. Biogas yang sudah ditampung dalam tabung Freon, dialirkan ke ruang bakar menggunakan selang bening.
5. Pada sepeda motor dilakukan modifikasi di karburatornya dengan memasang plat besi di saluran udara yang sebelumnya telah dibuat, agar rasio udara bahan bakar dan rasio kompresi engine bisa terpenuhi.
6. Sepeda motor diset diatas alat Dynotest untuk melakukan pengujian mencari torsi dan daya.
7. Dilakukan pengujian terhadap torsi dan daya sepeda motor dengan menaikkan putaran dari 1500 rpm hingga 6000 rpm.
8. Data torsi dan daya akan secara otomatis terlihat pada layar alat dynotest.
9. Kemudian untuk bahan bakar premium saluran bahan bakar diganti dari tangki awal motor menjadi gelas ukur yang telah terisi ukuran bahan bakar premium.
10. Dilakukan pengujian yang sama dengan menggunakan premium pada putaran 1500 rpm hingga 6000 rpm.
11. Data torsi dan daya saat menggunakan premium juga akan keluar secara otomatis pada layar alat dynotest.
12. Setelahnya dilahat bahan bakar premium yang dihabiskan untuk mendapatkan torsi dan daya tersebut.
13. Dilakukan analisa pada unjuk dengan membandingkan antara pemakaian biogas dan premium tersebut.

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1. Pengaturan AFR

Massa jenis bahan bakar biogas dengan udara memiliki selisih  $0,05 \text{ kg/m}^3$  sehingga bisa dikatakan sama. Dengan tekanan udara dan biogas yang sama maka pengaturan AFR hanya bergantung pada diameter lubang udara dan bahan bakar ke ruang bakar. Diameter udara yang digunakan untuk bahan bakar premium adalah diameter awal yang ada pada karburator bensin manual dengan besar diameter 3,212 cm. Diameter bahan bakar yang digunakan adalah diameter awal yang sudah tersedia pada karburator motor bensin manual dengan besar diameter 0,32 cm untuk bahan bakar biogas juga menggunakan diameter bahan bakar yang sama dengan bahan bakar premium.

Adapun perbandingan AFR yang digunakan didapatkan dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \dot{m}_{\text{biogas}} &= \dot{m}_{\text{udara}} \\ \rho_{\text{biogas}} \cdot A \cdot V_{\text{biogas}} &= \rho_{\text{udara}} \cdot A \cdot V_{\text{udara}} \\ \rho_{\text{biogas}} \cdot 0,32 \text{ cm} \cdot V_{\text{biogas}} &= \rho_{\text{udara}} \cdot 0,32 \text{ cm} \cdot V_{\text{udara}} \\ 0,32 \text{ cm} &= 0,32 \text{ cm} \\ 1 &= 1 \end{aligned}$$

Untuk AFR 1 : 1 ukuran diameter lubang udara dan bahan bakar sama yaitu 0,32 cm, AFR 1 : 2 diameter udara sebesar 0,16 cm, dan untuk AFR 1 : 4 diameter udara sebesar 0,08 cm.

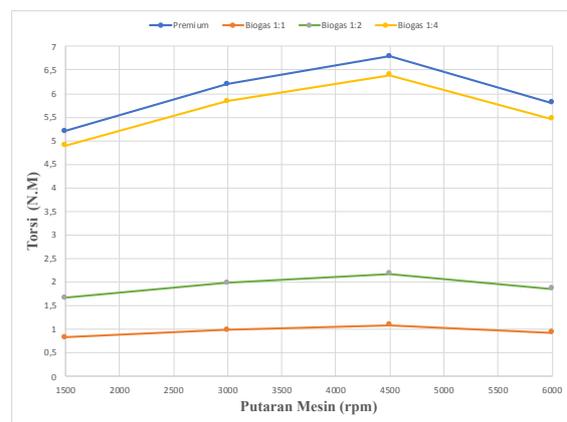
### 4.2. Torsi

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan didapatkan nilai torsi kendaraan bermotor saat menggunakan bahan bakar premium dan bahan bakar biogas seperti terlihat pada Tabel 3.

**Tabel 3. Data Torsi saat menggunakan Premium dan Biogas**

Rpm	Torsi (N.m)			
	Premium	Biogas 1:1	Biogas 1:2	Biogas 1:4
1500	5,2	0,8	1,7	4,9
3000	6,2	1,0	2,0	5,8
4500	6,79	1,09	2,2	6,4
6000	5,8	1	1,9	5,5

Berdasarkan data yang di hasilkan pada Tabel 3 didapatkan grafik perbandingan Torsi saat motor menggunakan premium murni dan biogas



**Gambar 1. Grafik perbandingan torsi bahan bakar premium dengan biogas.**

Berdasarkan Gambar 1 dapat kita ketahui bahwa bahan bakar premium masih menghasilkan torsi yang lebih besar dibandingkan dengan bahan bakar biogas pada semua kondisi AFR.

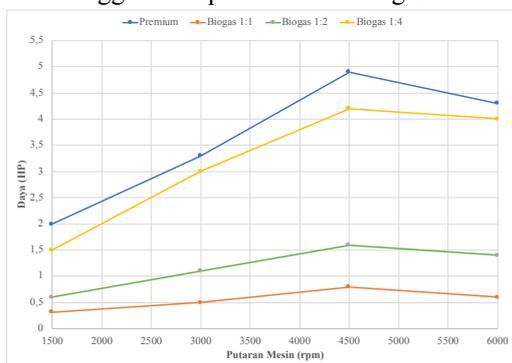
### 4.3. Daya

**Tabel 4. Data Daya saat menggunakan Premium dan Biogas**

Rpm	Daya (HP)			
	Premium	Biogas 1:1	Biogas 1:2	Biogas 1:4
1500	2	0,32	0,6	1,5
3000	3,3	0,5	1,1	3

4500	4,9	0,8	1,6	4,2
6000	4,3	0,6	1,4	4

Dari tabel 4 diperoleh grafik perbandingan daya saat motor menggunakan premium dan biogas.



Gambar 2. Grafik perbandingan daya bahan bakar premium dengan biogas.

Berdasarkan Gambar 2 dapat diketahui bahwa daya yang dihasilkan oleh bahan bakar biogas masih belum bisa lebih tinggi atau sama dengan bahan bakar premium.

#### 4.4 Specific Fuel Consumption (SFC)

SFC pada penelitian ini didapatkan menggunakan persamaan 5, contoh perhitungan pada tabel 4.3 di dapatkan dengan cara sebagai berikut :

$$SFC = \frac{\dot{m}_f}{\text{Daya rata-rata}}$$

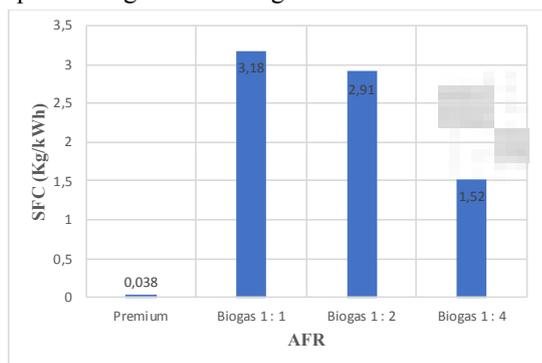
$$SFC = \frac{1,364 \text{ kg/h}}{0,43 \text{ kW}}$$

$$SFC = 3,18 \text{ kg/kWh}$$

Tabel 5. SFC Premium dan Biogas pada semua kondisi AFR

Bahan Bakar	SFC (kg/kWh)
Premium	0,038
Biogas 1 : 1	3,18
Biogas 1 : 2	2,91
Biogas 1 : 4	1,52

Berdasarkan data Tabel 5 didapatkan grafik perbandingan SFC sebagai berikut :



Gambar 3. Grafik perbandingan SFC bahan bakar premium dan biogas.

Dari Gambar 3 diketahui bahwa bahan bakar premium jauh lebih hemat dibandingkan dengan bahan bakar biogas pada semua kondisi AFR dan bahan bakar biogas paling efisien didapatkan saat menggunakan AFR 1 :4.

#### 5. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapatkan dari penelitian yang telah dilakukan saat motor menggunakan bahan bakar biogas dan premium adalah :

1. Torsi maksimal yang dihasilkan saat menggunakan bahan bakar Biogas sebesar 6,4 N.m pada AFR 1 : 4 diputaran 4500 rpm dan Torsi maksimal yang dihasilkan saat menggunakan bahan bakar Premium sebesar 7,65 N.m pada perseneling ke-2 diputaran 1500 rpm.
2. Daya maksimal yang dihasilkan saat menggunakan bahan bakar Biogas sebesar 4,2 HP pada AFR 1 : 4 diputaran 4500 rpm dan Daya maksimal yang dihasilkan saat menggunakan bahan bakar Premium sebesar 4,9 HP pada perseneling ke-3 diputaran 4500 rpm.
3. SFC minimal yang dihasilkan saat menggunakan bahan bakar biogas sebesar 1,52 kg/kWh pada AFR 1 : 4 dan SFC minimal yang dihasilkan saat menggunakan bahan bakar premium sebesar 0,03 kg/kWh pada perseneling ke-3.

#### Daftar Pustaka

- [1] Purwoko. 2016. *Perlakuan Awal Jerami Sorgum Secara Biologis dan Co-Digestion Dengan Sludge Pada Produksi Biogas*. Bogor, Indonesia.
- [2] Wahyuni. 2011. *Menghasilkan Biogas Dari Aneka Limbah*. Jakarta.
- [3] Wjayanti, Fitri, dan Dadan Irwan. 2014. "Analisis Pengaruh Bentuk Permukaan Piston Terhadap Kinerja Motor Bensin." 2(1): 34-42.



I Made Rai Arta Wiguna menyelesaikan studi program sarjana di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2016 sampai 2020.

Bidang penelitian yang dilakukan adalah mengenai motor bakar empat langkah dan bahan bakar alternative yang bisa diperbaharui.

# Uji Eksperimen Desain Piezoelektrik Kuarsa dengan Variasi Beban terhadap Keluaran Arus dan Tegangan

I Ketut Adi Pramayoga, I Gusti Ngurah Nitya Santhiarsa, dan Ni Made Dwidiani  
*Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali*

## Abstrak

Penelitian ini berupaya untuk menciptakan salah satu alat pemanen energi yaitu piezoelektrik dengan memanfaatkan bahan pasir kuarsa "CeraSil" yang dapat mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Input energi mekanik yang digunakan untuk mendapatkan energi listrik berasal dari beban statis. Pada penelitian ini akan dibahas mengenai proses pembuatan prototipe piezoelektrik kuarsa dan pengaruh pembebanan yang bervariasi terhadap keluaran arus dan keluaran tegangan dari piezoelektrik kuarsa. Penelitian ini melakukan 2 jenis pengujian yaitu, pengujian keluaran arus dan keluaran tegangan pada prototipe piezoelektrik kuarsa dengan menggunakan metode eksperimen, maka dilakukan pemberian tekanan yang bervariasi untuk mendapatkan keluaran arus dan keluaran tegangan yang diinginkan. Dengan menggunakan beban statis, didapatkan keluaran arus rata-rata sebesar 0,944  $\mu\text{A}$ , 1,145  $\mu\text{A}$ , dan 1,356  $\mu\text{A}$  pada beban statis 2 kgf, 4 kgf, dan 6 kgf, dengan peningkatan keluaran arus dari 2 kgf ke 4 kgf sebesar 21,29 % dan peningkatan keluaran arus dari 4 kgf ke 6 kgf sebesar 18,43 %. Pada keluaran tegangan, didapatkan keluaran tegangan rata-rata sebesar 0,8359 V, 1,0324 V, dan 1,2413 V pada beban statis 2 kgf, 4 kgf, dan 6 kgf dengan peningkatan keluaran tegangan dari 2 kgf ke 4 kgf sebesar 23,5 % dan peningkatan keluaran tegangan dari 4 kgf ke 6 kgf sebesar 20,23 %.

Kata kunci: Kuarsa, pemanen energi, piezoelektrik

## Abstract

This study aims at creating an energy harvester called piezoelectric by using "CeraSil" quartz sand material that can convert mechanical energy into electrical energy. A mechanical energy input used to obtain the electrical energy comes from a static load. This study will discuss the process of making quartz piezoelectric prototype and the effect of variable pressure loading on the current output and voltage output of quartz piezoelectric. This study conducts 2 types of testing, testing the current output and voltage output on the quartz piezoelectric prototype, by using experimental method and applying variable pressures to obtain the desired current output and voltage output. By using the static loads, the averages of the current output are 0.944  $\mu\text{A}$ , 1.145  $\mu\text{A}$ , and 1.356  $\mu\text{A}$  at the static loads of 2 kgf, 4 kgf, and 6 kgf, with 21.29 % increase of current output from 2 kgf to 4 kgf and 18.43 % increase of current output from 4 kgf to 6 kgf. Meanwhile, the averages of voltage output are 0.8359 V, 1.0324 V, and 1.2413 V at the static loads of 2 kgf, 4 kgf, and 6 kgf, with 23.5 % increase of voltage output from 2 kgf to 4 kgf and 20.23 % increase of voltage output from 4 kgf to 6 kgf.

Keywords: Quartz, energy harvester, piezoelectric

## 1. Pendahuluan

Dengan konsumsi listrik di Indonesia yang semakin meningkat setiap tahunnya, tentunya juga akan berdampak terhadap lingkungan hidup, karena pembangkit listrik di Indonesia sebagian besar masih menggunakan energi yang berasal dari fosil yang mana pembangkit listrik energi fosil menghasilkan emisi gas buang yang akan berdampak langsung terhadap lingkungan hidup.

Untuk mengurangi emisi gas buang, maka diperlukan suatu alat pemanen energi yang bisa mengurangi penggunaan listrik. Terdapat banyak alat pemanen energi salah satunya ialah piezoelektrik. Piezoelektrik merupakan penghasil listrik yang ramah lingkungan, dimana ketika piezoelektrik diberi tekanan maka piezoelektrik itu sendiri akan menghasilkan listrik dengan mengkonversi energi mekanik yang diberikan dan menjadikannya energi listrik.

Terdapat berbagai macam bahan dari piezoelektrik, namun bahan alami yang paling banyak digunakan dalam pembuatan piezoelektrik adalah kuarsa ( $\text{SiO}_2$ ). Bentuk yang paling umum dari

kuarsa adalah pasir kuarsa. Berdasarkan hal tersebut, pada penelitian ini membuat prototipe piezoelektrik dari bahan pasir kuarsa untuk diuji keluaran arus dan keluaran tegangan dari piezoelektrik tersebut dengan menggunakan variasi beban statis.

Adapun beberapa batasan yang ditetapkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengujian XRD untuk menentukan fasa pasir yang digunakan.
2. Prototipe hanya diuji tekanan untuk mendapatkan keluaran arus dan tegangan..
3. Pasir yang digunakan adalah pasir "Cerasil" 325 mesh.
4. Pengujian tekanan menggunakan beban statis.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Tekanan

Jika suatu benda padat terletak diatas permukaan suatu benda, maka benda padat tersebut akan memberikan tekanan pada permukaan dibawahnya. Tekanan benda padat tersebut dapat dihitung dengan gaya yang diberikan dan luas penampang yang menahan benda padat tersebut. Sebagai contoh

sebuah balok yang terletak diatas permukaan lantai. Tekanan balok dapat dihitung dengan membagi berat balok tersebut dengan luas penampang dari balok itu sendiri. Atau didefinisikan dalam persamaan fisika sebagai berikut [1].

$$p = \frac{F}{A} \quad (1)$$

F = gaya tekan (N)  
A = luas penampang kontak (m<sup>2</sup>)  
P = tekanan Pa (pascal).

## 2.2 Pasir Kuarsa

Pasir kuarsa merupakan pasir yang banyak ditemukan dan merupakan istilah industri untuk pasir yang memiliki persentasi silika yang tinggi. Pasir kuarsa umumnya berwarna putih bening, tapi terkadang dapat dijumpai dengan warna lain sesuai dengan warna oksida pengotornya, seperti Fe atau Cu yang mengakibatkan warna kuning dan merah. Pasir kuarsa memiliki kekerasan 7 mohs, titik lebur 1715 °C dan konduktivitas 12-100 °C, dengan bentuk kristal heksagonal.

Kandungan pasir kuarsa umumnya terdiri dari berbagai unsur kimia sebagai berikut [2].

Kandungan	Persentase
SiO <sub>2</sub>	55,30 – 99,87 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01 – 9,14 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01 – 19,0 %
TiO <sub>2</sub>	0,01 - 0,49 %
CaO	0,01 – 3,24 %
MgO	0,01 - 0,26 %
K <sub>2</sub> O	0,01 – 17,0 %

## 2.3 Piezoelektrik

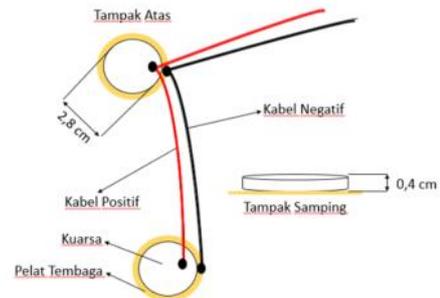
Piezoelektrik adalah salah satu dari komponen elektronika yang bisa mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik maupun sebaliknya. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan prinsip atau efek piezoelektrik itu sendiri, yaitu ketika suatu gaya atau tekanan yang diberikan pada bahan piezoelektrik, maka pada permukaan bahan piezoelektrik tersebut akan muncul muatan listrik. Hal itu dapat terjadi karena adanya pergerakan muatan-muatan listrik pada sel kristal bahan piezoelektrik akibat gaya yang diberikan pada bahan piezoelektrik tersebut [3].

## 3. Metode Penelitian

Model pada penelitian ini menggunakan metode eksperimental untuk mengetahui kualitas dari piezoelektrik kuarsa. Piezoelektrik kuarsa akan diuji menggunakan beban 2 kgf, 4 kgf, dan 6 kgf untuk

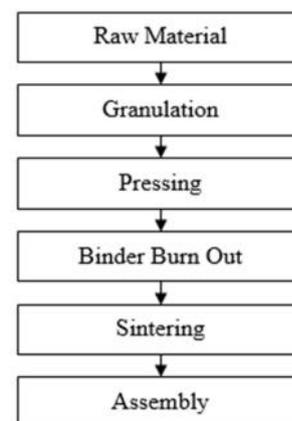
mendapatkan keluaran arus dan keluaran tegangan. Dengan menggunakan 3 prototipe, per masing-masing beban dilakukan dengan 3 kali pengujian untuk uji keluaran arus dan 5 detik data keluaran tegangan stabil yang digunakan per masing-masing beban untuk pengujian keluaran tegangan.

Adapun desain yang digunakan dalam pembuatan prototipe ialah sebagai berikut.



Gambar 1. Desain Prototipe Piezoelektrik Kuarsa

Tahapan dalam pembuatan prototipe piezoelektrik kuarsa dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. Proses Pembuatan Prototipe Piezoelektrik Kuarsa

- Raw Material (Bahan Baku)**  
Pasir kuarsa “CeraSil” 325 mesh yang berasal dari daerah Bangka Belitung digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan piezoelektrik kuarsa.
- Granulasi**  
Bahan baku kemudian dicampur dengan pengikat organik. Pengikat yang digunakan adalah perekat CMC sebanyak 5%.
- Pressing (Cetak Tekan)**  
Bahan baku yang sudah dicampur kemudian di cetak tekan menggunakan alat press hidrolik dengan ukuran cetakan yang telah ditentukan. Proses cetak tekan dilakukan dengan memberikan tekanan 5 kN selama 30 detik.

d. Pembakaran *Binder*

Senyawa organik dan bahan pengikat dihilangkan dengan pemanasan pada temperatur 500°C - 700°C secara perlahan.

e. Sintering

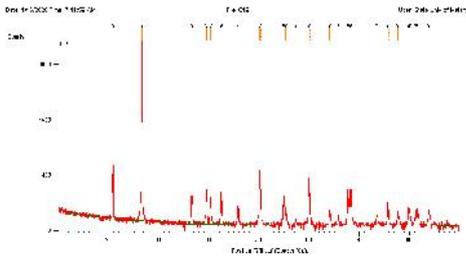
Sintering dilakukan agar terjadi pertumbuhan butir dan berdifusi untuk membentuk keramik piezoelektrik. Proses sintering dilakukan dengan suhu 1200 °C selama 6 jam.

f. *Assembly*

Setelah piezoelektrik kuarsa selesai dicetak, kemudian dilanjutkan dengan perangkaian prototipe. Perangkaian prototipe dilakukan dengan menggabungkan hasil cetakan piezoelektrik dengan lembaran tembaga dan kabel. Rangkaian prototipe piezoelektrik menggunakan rangkaian secara paralel.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Analisis XRD (X-Ray Diffraction)



Gambar 1. Grafik hubungan intensitas dengan sudut difraksi

Dilihat dari grafik diatas, terlihat bahwa terdapat beberapa *peak* atau puncak pola difraksi dengan intensitas yang berbeda-beda. *Peak* terjadi karena difraksi sinar X dengan intensitas *peak* berbanding lurus dengan jumlah foton sinar X. Untuk mengetahui bidang difraksi XRD bisa dilihat pada gambar berikut ini.

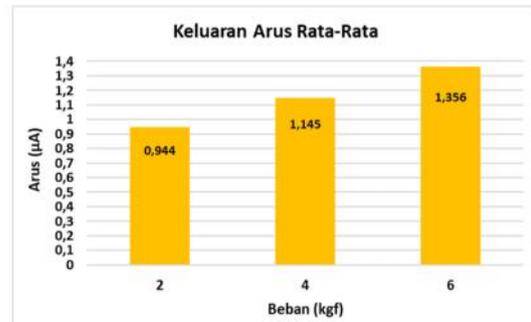
Pos. (*2Th.)	Height(cts)	FWHM(*2Th.)	d-spacing(Å)	Rel.Int.(%)
20.8882	790.79	0.1181	4.25283	16.74
26.6659	4725.33	0.1378	3.34304	100.00
36.5667	294.67	0.1181	2.45743	6.24
39.4871	221.95	0.0984	2.28216	4.70
40.3197	148.09	0.0787	2.23693	3.13
42.4765	211.02	0.0984	2.12821	4.47
45.8169	148.17	0.0787	1.98052	3.14
50.1585	465.52	0.0960	1.81729	9.85
50.3095	210.74	0.0960	1.81670	4.46
54.8947	165.89	0.0960	1.67117	3.51
55.3392	43.58	0.2400	1.65880	0.92
57.3605	5.24	0.5760	1.60505	0.11
59.9752	308.66	0.1200	1.54118	6.53
60.1405	176.66	0.0960	1.54115	3.74
64.0458	49.12	0.0960	1.45269	1.04
65.8618	11.58	0.2880	1.41696	0.25
67.7543	213.83	0.1200	1.38192	4.53
68.1616	228.47	0.0960	1.37465	4.84
68.3303	250.76	0.1200	1.37166	5.31
73.4650	57.90	0.1200	1.28795	1.23
75.6725	92.84	0.1440	1.25577	1.96
75.8911	51.22	0.1440	1.25581	1.08
77.6756	42.13	0.1200	1.22832	0.89
79.9028	106.06	0.0720	1.19959	2.24
80.1122	62.89	0.1440	1.19698	1.33
81.1838	55.36	0.1440	1.18386	1.17
81.4773	111.34	0.1200	1.18034	2.36
81.7229	40.93	0.1440	1.18034	0.87
83.8462	57.26	0.1440	1.15291	1.21

Gambar 1. Hasil XRD pasir “Cerasil”

Dari gambar tersebut, bisa dilihat bidang difraksi yang memiliki intensitas tertinggi yaitu 100 % berada pada sudut  $2\theta = 26,6659$  dengan bidang difraksi 3,34 Å. Sesuai dengan penelitian [4] dan [5] bahwa fasa kuarsa terdapat pada bidang difraksi 3,33 Å dengan posisi sudut intensitas maksimum yang termasuk fasa kuarsa adalah pada posisi  $2\theta = 26,8$ . Dengan demikian pasir “CeraSil” telah mengidentifikasi fase kuarsa dengan bentuk kristal heksagonal.

4.2. Hasil Uji Arus

Hasil uji keluaran arus rata-rata dari tiga kali pengujian pada 3 prototipe piezoelektrik kuarsa dengan beban 2 kgf didapatkan arus rata-rata sebesar 0,944 µA, dengan menggunakan beban 4 kgf didapatkan arus rata-rata sebesar 1,145 µA, dan dengan menggunakan beban 6 kgf didapatkan arus sebesar 1,356 µA. Dengan grafik keluaran arus rata-rata seperti gambar berikut.



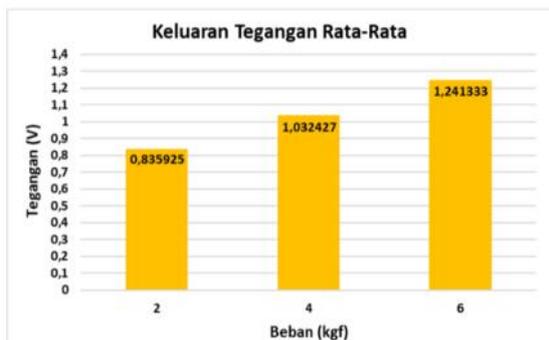
Gambar 5. Grafik Keluaran Arus Rata-rata Prototipe Piezoelektrik Kuarsa

Terjadi kenaikan keluaran arus rata-rata dari beban 2 kgf ke beban 4 kgf sebesar 21,29 % dan juga terjadi kenaikan keluaran arus rata-rata dari beban 4 kgf ke beban 6 kgf sebesar 18,43 % hal tersebut terjadi karena sesuai dengan persamaan tekanan yaitu tekanan sama dengan gaya dibagi dengan satuan luas, dimana tekanan berbanding lurus dengan gaya yang artinya semakin bertambahnya beban yang diberikan maka tekanan yang dihasilkan juga akan semakin bertambah sehingga keluaran arus juga akan semakin bertambah seiring dengan penambahan beban.

4.3. Hasil Uji Tegangan

Dari hasil pengujian osiloskop, rata-rata keluaran tegangan pada pengujian prototipe piezoelektrik kuarsa dengan beban 2 kgf didapatkan tegangan rata-rata sebesar 0,8359 V, dengan menggunakan beban 4 kgf didapatkan arus rata-rata sebesar 1,0324 V, dan dengan menggunakan beban 6 kgf didapatkan arus sebesar 1,2413 V.

Dengan grafik keluaran tegangan rata-rata seperti gambar berikut.



**Gambar 5. Grafik Keluaran Tegangan Rata-rata Prototipe Piezoelektrik Kuarsa**

Terjadi kenaikan keluaran tegangan rata-rata dari beban 2 kgf ke beban 4kgf sebesar 23,5 % dan kenaikan keluaran tegangan dari beban 4 kgf ke beban 6 kgf sebesar 20,23 %. Kenaikan tersebut terjadi karena sesuai dengan persamaan tekanan yaitu tekanan sama dengan gaya dibagi dengan satuan luas, dimana tekanan berbanding lurus dengan gaya yang artinya semakin bertambahnya beban yang diberikan maka tekanan yang dihasilkan juga akan semakin bertambah sehingga keluaran tegangan juga akan semakin bertambah seiring dengan penambahan beban.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian tentang uji eksperimen desain piezoelektrik kuarsa disimpulkan beberapa hal antara lain.

1. Keluaran arus rata-rata yang dihasilkan oleh prototipe piezoelektrik kuarsa dengan beban 2 kgf, 4 kgf, dan 6 kgf, adalah 0,944  $\mu$ A, 1,156  $\mu$ A, dan 1,356  $\mu$ A. Terjadi kenaikan keluaran arus rata-rata dari beban 2 kgf ke beban 4 kgf sebesar 22,46 % dan dari beban 4 kgf ke beban 6 kgf sebesar 17,31 %. Artinya hubungan beban berbanding lurus dengan keluaran arus.
2. Keluaran tegangan rata-rata yang dihasilkan oleh prototipe piezoelektrik kuarsa dengan beban 2 kgf, 4 kgf, dan 6 kgf, adalah 0,8359 V, 1,0324 V, dan 1,2413 V. Terjadi kenaikan keluaran tegangan rata-rata dari beban 2 kgf ke beban 4 kgf sebesar 23,5 % dan dari beban 4 kgf ke beban 6 kgf sebesar 20,23 %. Yang artinya hubungan beban berbanding lurus dengan keluaran tegangan.

## Daftar Pustaka

- [1] Giancoli, Douglas. C, 2014, *Physics Principles with Applications*, Pearson Education, United States of America.

- [2] Sukandarrumidi, 2009, *Bahan Galian Industri*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- [3] Jaffe, H, B. Jaffe, W. R. Cook. Jr, 1971, *Piezoelectric Ceramics*, Academic Press, London and New York.
- [4] Munasir, Triwikantoro, M. Zainuri, Darmito, 2012, *Uji Xrd dan Xrf pada Bahan Meneral (Batuan Dan Pasir) sebagai Sumber Material Cerdas (Caco3 Dan Sio2)*, Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA), Surabaya.
- [5] Muliawan, Arief, 2017, *Studi Awal Bahan Dasar Piranti Solar Cell pada Pasir Sambera Muara Badak menggunakan Xrf dan Xrd*, Jurnal Teknik Mesin Univ. Muhammadiyah Metro, Bontang.



**I Ketut Adi Pramayoga** merupakan mahasiswa yang telah menyelesaikan studi Strata 1 di Universitas Udayana dengan Program Studi Teknik Mesin pada tahun 2020.

Bidang-bidang penelitian yang diminati ialah topik-topik yang membahas tentang material teknik dan energi ramah lingkungan.

# Desain Piezoelektrik Dengan Variasi Diameter Penampang Kuarsa Terhadap Keluaran Arus Dan Tegangan

Ida Bagus Dyota Aruna Bhayu, I Gusti Ngurah Nitya Santhiarsa dan Ni Made Dwidiani

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

---

## Abstrak

Energi alternatif pada masa kini diperlukan sebagai pengganti sebagian energi listrik yang dibangkitkan dari energi yang berasal dari fosil. Piezoelektrik merupakan salah satu contoh sumber energi alternatif berskala kecil yang dapat digunakan pada keseharian atau aktifitas tertentu untuk membantu menggantikan sumber energi berbahan dasar fosil dalam menghasilkan energi listrik. Piezo berarti tekanan dan elektrik mengartikan listrik yang kemudian piezoelektrik memiliki arti menghasilkan atau memanen energi listrik dengan energi mekanis. Piezoelektrik berbahan kuarsa memiliki potensial yang tinggi untuk dikembangkan karena kuarsa merupakan salah satu bahan alami yang memiliki efek piezoelektrik dan terdistribusi secara luas di permukaan bumi. Dalam penelitian ini, peneliti menciptakan piezoelektrik berbahan kuarsa yang diameternya divariasikan dan disusun secara paralel serta diberikan beban sebesar 6 kg. Hasil yang didapat adalah piezoelektrik berdiameter paling besar menghasilkan rata-rata arus dan rata-rata tegangan yang semakin besar.

Kata Kunci : piezoelektrik, kuarsa, variasi diameter

## Abstract

Alternative energy in this era is needed for changing partially electric energy that produced by fossil energy. Piezoelectric is one example alternative energy source in small scale that can we use everyday or in certain activity for helping fossil energy source to produce electric energy. Piezo means press and electric means electricity then piezoelectric have a meaning produced or harvesting electric energy from mechanical stress. Quartz piezoelectric have high potential to be developed because quartz is natural material who have piezoelectric effect and widely distributed in the surface of earth. In this research, the researcher create quartz piezoelectric whose diameters varied and arranged in paralel and then given 6 kilogram load. The results is the more biggest diameter piezoelectric produced average electric current and average electric voltage more biggest.

Keywords: Piezoelectric, quartz, varied diameters

---

## 1. Pendahuluan

Kehidupan manusia tidak dapat dipisahkan dengan teknologi-teknologi yang mempermudah kehidupan manusia. Namun, teknologi-teknologi tersebut ditunjang oleh energi listrik dalam pengoperasiannya sehingga kehidupan manusia pada saat ini tak dapat dipisahkan dari energi listrik. Energi listrik sebagian besar dibangkitkan melalui bahan bakar fosil yang seringkali berkontribusi dalam merusak lingkungan. Maka dari itu, ilmuwan-ilmuwan maupun pemerintah menggadangkan wacana untuk memaksimalkan energi alternatif yang dapat menggantikan peran dari energi berbahan dasar fosil. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk merealisasikan wacana energi alternatif adalah dengan menggunakan piezoelektrik dalam memanen energi. Piezoelektrik merupakan salah satu cara pemanen energi yang dalam menghasilkan energi memerlukan tekanan untuk memicu efek piezoelektrik keluar dari material yang memilikinya dan salah satu material tersebut adalah kuarsa.

Untuk mengetahui seberapa efektif kuarsa dalam membangkitkan energi listrik dan berapa besar peran diameter piezoelektrik berbahan kuarsa dalam menghasilkan listrik, maka saya

memvariasikan ukuran diameter pada piezoelektrik berbahan dasar kuarsa yang saya ciptakan. Ukuran diameter yang digunakan ialah 2,30 cm ; 2,875 cm ; 3,45 cm.

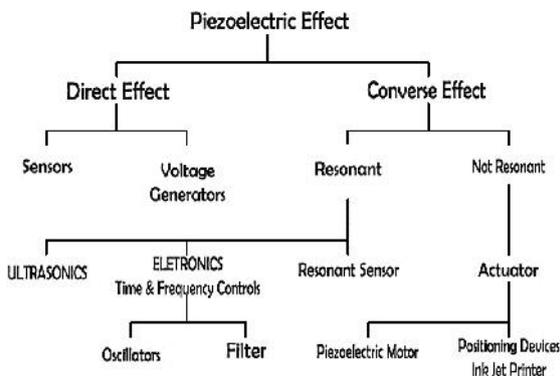
Beberapa batasan penelitian ditetapkan dalam penelitian ini diantara lain, meliputi:

1. Tebal piezoelektrik sama dan besar beban yang diberikan konstan
2. Rangkaian yang digunakan rangkaian paralel
3. Piezoelektrik berbahan dasar tetap yaitu berbahan dasar pasir kuarsa "Cerasil" 325
4. Hasil XRD hanya sebagai pembuktian material benar merupakan fase kuarsa

## 2. Dasar Teori

Piezoelektrik berasal dari dua kata yaitu *piezo* yang berarti tekanan dan *electric* yang artinya listrik. Jadi piezoelektrik merujuk kepada sesuatu atau bahan yang dapat menghasilkan energi listrik ketika diberikan suatu gaya tekanan atau tarikan. Bahan piezoelektrik berarti dapat memproduksi medan listrik ketika mendapat tekanan mekanis. Piezoelektrik dapat diciptakan menggunakan bahan alami atau bahan buatan. Contoh bahan alami seperti kuarsa, garam rossel, turmalin,dll. Contoh bahan buatan seperti Lead Zirconate Titanate (PZT), Polyvinylidene fluoride (PVDF),dll. Implementasi

piezoelektrik dapat digunakan untuk beberapa macam fungsi seperti piezoelektrik transduser, piezoelektrik sensor, piezoelektrik aktuator, dll.



**Gambar 1. Fungsi dan Penggunaan Piezoelektrik [1]**

*Compaction* adalah salah satu metode pembentukan benda yang diinginkan dengan mekanisme penekanan serbuk yang dimasukkan kedalam cetakan. *Compaction* sering disebut juga proses cetak tekan. Penekanan pada serbuk berfungsi untuk konsolidasi dari serbuk kedalam bentuk yang diinginkan dan memperoleh dimensi yang dicanangkan sebelumnya. Tekanan pemadatan yang diperlukan bergantung kepada jenis bahan serbuk. Penekanan terhadap serbuk dengan tujuan agar serbuk menempel antar serbuk sebelum ditingkatkan ikatannya dengan proses *sintering*

*Sintering* merupakan proses memanaskan material dibawah titik leburnya. Efek dari *sintering* menyebabkan partikel-partikelnya berikatan satu sama lain sehingga benda padat dapat terjadi dikarenakan terbentuknya ikatan-ikatan antar partikel yang ada didalam suatu benda tersebut. Meningkatnya ikatan setelah proses *sintering* ini disebabkan timbulnya *liquid bridge (necking)* sehingga porositas dapat diminimalisir dan bahan menjadi lebih menyatu dan kompak.

*X-Ray Diffraction* atau disingkat XRD merupakan alat untuk mengidentifikasi fasa dan mengetahui tingkat kristalinitas bahan pada suatu material. XRD sering digunakan karena sifat sinar X untuk tujuan pemeriksaan tidak merusak material maupun manusia, sehingga XRD merupakan salah satu metode karakterisasi material yang paling sering digunakan dan paling tua

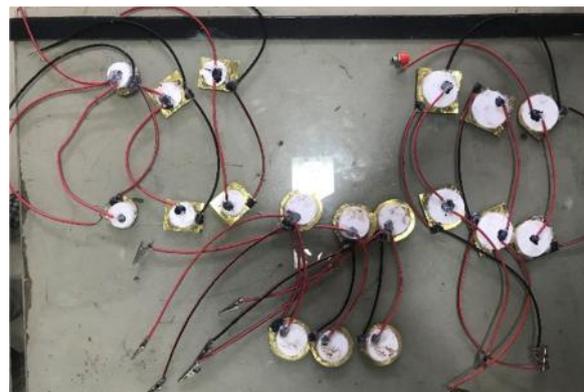
### 3. Metode Penelitian

Penelitian ini memvariasikan ukuran diameter pada piezoelektrik berbahan dasar kuarsa. Tebal piezoelektrik yang digunakan 0,4 cm dan beban yang diberikan sebesar 6 kg. Ada 3 ukuran diameter yaitu 2,30 cm; 2,875 cm; 3,45 cm. Dalam satu prototype terdapat 2 buah piezoelektrik yang disambungkan secara paralel. Output dari pengujian yang dilakukan adalah berupa keluaran tegangan dan arus listrik

Piezoelektrik diciptakan dengan metode metalurgi serbuk dengan berbahan dasar pasir kuarsa

“Cerasil” 325 mesh. Adapun rentetan tahapan penelitian yang dilaksanakan, yaitu :

- Proses metalurgi serbuk tersebut dimulai dari proses *compaction*. Proses *compaction* dilakukan dengan tekanan yang diberikan sebesar 2,5kN dan ditambahkan CMC pada kuarsa sebanyak 10%. Cetakan proses *compaction* disesuaikan dengan ukuran diameter yang akan dibuat.
- Setelah itu dilanjutkan dengan proses *sintering* dengan suhu 394 °C selama 120 menit dan dilanjutkan dengan suhu 789 °C dan 1184 °C masing-masing selama 120 menit.
- Pembuatan piezoelektrik dengan kuarsa yang telah disintering. Kuarsa yang telah disintering direkatkan dengan pelat tembaga
- Pembuatan prototype dengan cara merekatkan kuarsa serta pelat tembaga dengan kabel dan merangkai secara paralel 2 buah piezoelektrik
- Pengujian tegangan menggunakan osiloskop dengan metode mengukur keluaran voltase dengan beban 6 kg ditahan kurang lebih selama 5 detik sehingga menghasilkan data voltase sebanyak 5 data per masing-masing spesimen
- Pengujian arus menggunakan voltmeter yang diukur dengan metode pengambilan data arus listrik per spesimen sebanyak 3 data. Setiap data diambil ketika piezoelektrik menghasilkan arus yang stabil dengan waktu kestabilan arus kurang lebih selama 4 detik
- Karena peneliti menciptakan 3 prototipe piezoelektrik per masing-masing diameternya, maka pengujian diulangi per masing-masing spesimen. Gambar prototipe dapat dilihat pada gambar 2 dibawah ini



**Gambar 2. Prototipe Piezoelektrik**

- Pengujian pasir “Cerasil” 325 mesh dengan X-Ray Diffraction

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1. Pengujian Tegangan Listrik

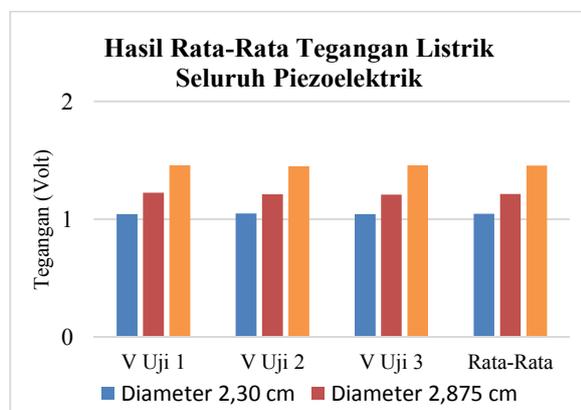
Tabel 1 merupakan tabel hasil rata-rata kelima data yang diambil pada setiap spesimen saat

pengujian tegangan listrik. V Uji yang dimaksudkan merupakan nomer spesimen yang diuji pada pengujian tegangan. Data menunjukkan bahwa hasil keluaran tegangan piezoelektrik cukup baik dan konsisten, karena jangkauan data sangat kecil bahkan jangkauan yang paling terbesar bernilai 0,016 volt yang dihasilkan oleh piezoelektrik dengan diameter 2.875 cm. Sedangkan piezoelektrik diameter 2.30 cm jangkauannya hanya 0.006 volt dan piezoelektrik berukuran diameter 3.45 cm hanya 0.008 volt.

**Tabel 1. Grafik Perbandingan Rata-Rata Tegangan Listrik Piezoelektrik**

Rata-Rata Tegangan Listrik Piezoelektrik (volt)				
	V Uji 1	V Uji 2	V Uji 3	Rata-Rata
Diameter 2,30 cm	1.042	1.048	1.044	1.045
Diameter 2,875 cm	1.224	1.212	1.208	1.215
Diameter 3,45 cm	1.458	1.45	1.458	1.456

Jika dibandingkan, terlihat bahwa rata-rata dari 5 buah data tegangan listrik yang terbesar dihasilkan pada piezoelektrik yang memiliki ukuran paling besar (3.45 cm) yang sebesar 1.456 volt dan posisi kedua dihasilkan oleh piezoelektrik yang memiliki diameter kedua terbesar (2.875 cm) yaitu sebesar 1.215 volt dan posisi ketiga (2.30 cm) sebesar 1.045 dihasilkan oleh piezoelektrik dengan diameter terkecil.



**Gambar 3. Diagram Perbandingan Rata-Rata Tegangan Listrik Piezoelektrik**

Rata-rata tegangan listrik yang dihasilkan pada piezoelektrik diameter 2,875 cm lebih besar 16% dari piezoelektrik diameter 2,30 cm. Namun piezoelektrik berukuran 3,45 cm memiliki rata-rata tegangan listrik 39% lebih besar dari piezoelektrik diameter 2,30 cm dan lebih besar 20% dari piezoelektrik diameter 2,875 cm. Dengan hasil data diatas, peneliti berkesimpulan semakin besar diameter piezoelektrik mengakibatkan semakin besar pula rata-rata tegangan listrik yang dihasilkan olehnya.

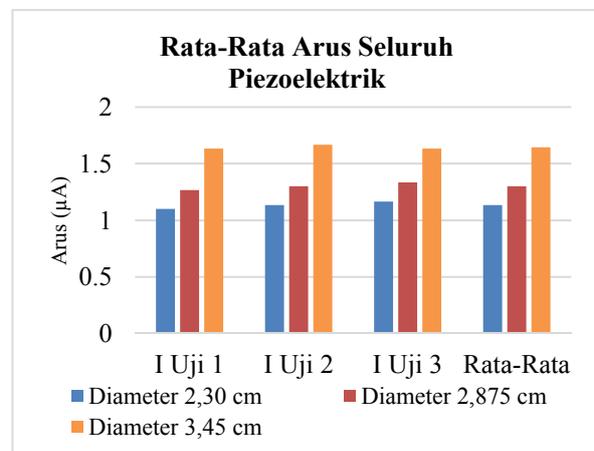
#### 4.2. Pengujian Arus Listrik

Tabel 2 merupakan hasil rata-rata dari 3 data yang diambil per masing-masing spesimen pada pengujian arus listrik. Mungkin hasil arus listrik yang dihasilkan dapat dikatakan kurang memuaskan karena masih sangat kecil (skalanya hanya mikroampere), sehingga belum efektif dimanfaatkan untuk menyuntikan energi pada perangkat-perangkat elektronik dengan daya rendah.

**Tabel 2. Grafik Perbandingan Rata-Rata Arus Listrik Piezoelektrik**

Rata-Rata Arus Listrik Seluruh Piezoelektrik ( $\mu\text{A}$ )				
	I Uji 1	I Uji 2	I Uji 3	Rata-Rata
Diameter 2,30 cm	1.1	1.133	1.167	1.133
Diameter 2,875 cm	1.267	1.3	1.333	1.3
Diameter 3,45 cm	1.633	1.667	1.633	1.644

Jika dibandingkan, terlihat bahwa rata-rata dari 5 buah data tegangan listrik yang terbesar dihasilkan pada piezoelektrik yang memiliki ukuran paling besar (3.45 cm) yang sebesar 1,644  $\mu\text{A}$  dan posisi kedua dihasilkan oleh piezoelektrik yang memiliki diameter kedua terbesar (2.875 cm) yaitu sebesar 1.3  $\mu\text{A}$  dan posisi ketiga (2.30 cm) sebesar 1.133  $\mu\text{A}$  dihasilkan oleh piezoelektrik dengan diameter terkecil

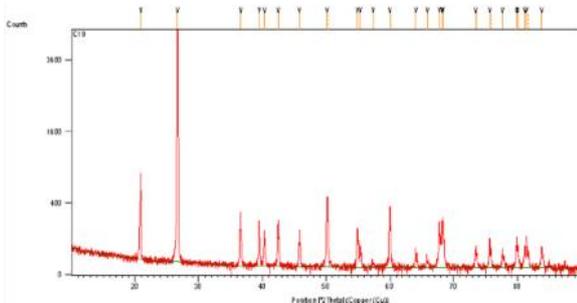


**Gambar 4. Diagram Perbandingan Rata-Rata Arus Listrik Piezoelektrik**

Rata-rata arus listrik yang dihasilkan piezoelektrik berukuran 2,875 cm lebih besar 14% dari diameter 2,30 cm. Rata-rata arus listrik yang dihasilkan oleh piezoelektrik diameter 3,45 cm lebih besar 45% dari diameter 2,30 cm dan hanya lebih besar 26% dari ukuran diameter 2,875 cm. Dari hasil pengujian listrik peneliti dapat menyimpulkan bahwa semakin besar diameter piezoelektrik tentu akan semakin besar pula arus listrik yang dihasilkannya

### 4.3. Pengujian X-Ray Diffraction

Grafik dibawah menggambarkan bahwa pola difraksi XRD terdiri dari beberapa peak yang mana sudut difraksi diukur pada garis horizontal dan intensitas peak ditampilkan pada sumbu vertikal. Posisi peak yang terjadi tergantung dari struktur kristalnya, hal ini dapat digunakan untuk menentukan struktur dan parameter kisi material yang di uji. Hasil dari grafik pada gambar 5 diperjelas pada tabel 3 dibawah ini



Gambar 5. Grafik Hasil Pengujian XRD

Tabel 3. Penjelasan Grafik Hasil Pengujian XRD

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	Tip width [°2Th.]	Matched by
20.8962	789.50	0.1181	4.25121	16.70	0.1417	01-085-0504
26.6676	4727.20	0.1378	3.34283	100.00	0.1653	01-085-0504
36.5673	294.47	0.1181	2.45740	6.23	0.1417	01-085-0504
39.4819	223.30	0.0984	2.28244	4.72	0.1181	01-085-0504
40.3218	148.31	0.0787	2.23682	3.14	0.0945	01-085-0504
42.4746	209.74	0.0984	2.12830	4.44	0.1181	01-085-0504
45.8206	134.82	0.0787	1.98037	2.85	0.0945	01-085-0504
50.1560	463.53	0.0960	1.81738	9.81	0.1152	01-085-0504
54.8925	165.85	0.0960	1.67123	3.51	0.1152	01-085-0504
55.3304	42.58	0.2400	1.65904	0.90	0.2880	01-085-0504
57.3594	5.26	0.5760	1.60508	0.11	0.6912	01-085-0504
59.9747	306.73	0.1200	1.54119	6.49	0.1440	01-085-0504
64.0461	48.98	0.0960	1.45268	1.04	0.1152	01-085-0504
65.8566	11.82	0.2880	1.41706	0.25	0.3456	01-085-0504
67.7537	213.26	0.1200	1.38193	4.51	0.1440	01-085-0504
68.1625	228.19	0.0960	1.37463	4.83	0.1152	01-085-0504
68.3357	250.11	0.1200	1.37157	5.29	0.1440	01-085-0504
73.4573	51.53	0.1200	1.28807	1.09	0.1440	01-085-0504
75.6739	91.39	0.1440	1.25575	1.93	0.1728	01-085-0504
77.6786	42.76	0.1200	1.22828	0.90	0.1440	01-085-0504
79.9056	106.65	0.0720	1.19955	2.26	0.0864	01-085-0504
81.1866	53.54	0.1440	1.18383	1.13	0.1728	01-085-0504
81.4741	113.52	0.1200	1.18037	2.40	0.1440	01-085-0504
83.8417	56.25	0.1440	1.15296	1.19	0.1728	01-085-0504

Di gambar 5 diatas terlihat terdapat puncak tertinggi, dengan penjelasan sesuai tabel 3 yaitu sudut  $2\theta = 26,667$  merupakan difraksi pada intensitas tertinggi dengan tinggi 4727,20 cts dan bidang difraksi sebesar 3,34Å. Terdapat juga puncak tertinggi kedua yang ditunjukkan gambar 5 dan dijelaskan kembali pada tabel 3 bahwa sudut  $2\theta = 20,89$  dengan tinggi 789,5 cts dan bidang difraksi sebesar 4,25 Å. Hasil ini jika dapat dijelaskan dengan penelitian [2] bahwa fase kuarsa dapat ditunjukkan pada bidang difraksi 3,34 Å dan 4,26 Å. Selain itu menurut [3] posisi sudut yang menghasilkan intensitas maksimum dan teridentifikasi sebagai fase kuarsa ialah pada posisi  $2\theta = 26,61$ . Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa sampel pasir “Cerasil 325” mesh tersebut teridentifikasi merupakan fase kuarsa.

### 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai variasi diameter terhadap tegangan dan arus keluaran pada

piezoelektrik berbahan kuarsa dapat disimpulkan beberapa hal antara lain:

1. Kesimpulan yang didapat ialah bahwa benar “Cerasil 325” sesuai teori merupakan fase kuarsa dan diperkuat kembali oleh hasil pengujian X-Ray Diffraction bahwa hasil puncak tertinggi memiliki sudut  $2\theta = 26,667$  dengan tinggi 4727,20 cts dan puncak tertinggi kedua memiliki bidang difraksi sebesar 3,34Å sudut  $2\theta = 20,89$  dengan tinggi 789,5 cts dan bidang difraksi sebesar 4,25 Å. Hal ini juga diperkuat oleh penelitian dari Florke et al dan Asmuni et al.
2. Pada pengujian tegangan listrik yang dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa hasil rata-rata tertinggi dihasilkan oleh piezoelektrik dengan diameter paling besar yaitu 3,45 cm, tertinggi kedua oleh diameter 2,875 cm dan tertinggi ketiga dihasilkan oleh diameter terkecil yaitu 2,3 cm.
3. Hasil dari arus listrik yang dihasilkan ketiga piezoelektrik kesimpulannya adalah rata-rata arus listrik piezoelektrik dengan diameter yang lebih besar akan lebih tinggi atau lebih besar dari rata-rata keluaran arus listrik piezoelektrik yang berdiameter lebih kecil.

### Daftar Pustaka

- [1] Hananto F.S., Santoso D.R., Julius, 2011, *Application Of Piezoelectric Material Film PVDF (Polyvinylidene Flouride) As Liquid Viscosity Sensor*, Jurnal Neutrino Vol 3, No. 2, 129-142
- [2] Florke, O.W., Schneider, H., *Intergrowth Relationship Between the SiO2- Polymorph Quartz, Cristobalite, and Trydimite in SiO2 Rich Ceramic Material*, Ber. Dtsch. Keram. Ges. 63, 368-372
- [3] Munasir, Triwikantoro, Zainuri, M., Darminto, 2013, *Ekstaksi dan Sintesis Nanosilika Berbasis Pasir Bacar dengan Metode Basah*, Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA), 3(2), 12-17



Ida Bagus Dyota Aruna Bhayu menyelesaikan studi S1 Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana pada tahun 2020.

Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan energi alternatif dan konversi energi.

# Variasi Waktu Aktivasi Kimia Terhadap Karakteristik Karbon Aktif Ampas Tebu Dan Adsorpsi *Methylene Blue*

Riza Surya Mahendra, Ni Made Dwidiani, dan I.G.N.Nitya Santhiarsa  
*Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit, Jimbaran Bali*

## Abstrak

Orientasi utama dari penelitian ini adalah untuk memahami karakteristik karbon aktif ampas tebu dan performa adsorpsi methylene blue. Proses karbonisasi pengeringan dengan oven 200 selama 2 jam, karbonisasi 500 selama 2 jam, aktivasi kimia menggunakan KOH 3M dengan variasi waktu aktivasi kimia 2 jam, 4 jam, dan 6 jam, Impregnasi menggunakan Autoklaf 120 selama 2 jam, pencucian menggunakan HCL 0.1 M hingga netral, dikeringkan oven 110 selama 13 jam. Hasil penelitian menunjukkan semakin lama waktu aktivasi kimia maka penyerapannya semakin rendah, namun waktu aktivasi paling lama dapat menghancurkan pori – pori karbon aktif tersebut, terbukti pada waktu 6 jam penyerapannya paling rendah. Penyerapan methylene blue pada SBAC2, SBAC4 dan SBAC6 berturut – turut 97.59 %, 98.25 %, dan 96.72 %.

**Kata Kunci :** Ampas tebu, karbon aktif, KOH, methylene blue

## Abstract

The main orientation of this research is to understand the characteristics of sugarcane activated carbon and methylene blue adsorption performance. Carbonization drying process with oven 200 for 2 hours, carbonization 500 for 2 hours, chemical activation using 3M KOH with a variation of chemical activation time 2 hours, 4 hours, and 6 hours, Impregnation using 120 autoclaves for 2 hours, washing using HCL 0.1 M to neutral, oven dried 110 for 13 hours. The results showed that the longer the chemical activation time, the lower the absorption, but the longest activation time can destroy the pores of the activated carbon, as evidenced at the lowest absorption time of 6 hours. The absorption of methylene blue in SBAC2, SBAC4 and SBAC6 were 97.59%, 98.25%, and 96.72%, respectively.

**Keywords:** Sugarcane bagasse, activated carbon, KOH, methylene blue

## 1. Pendahuluan

Pada tahun 2017 luas area perkebunan tebu di Indonesia berdasarkan status perusahaan 420.146 Ha. Yang terdiri dari Perkebunan Besar Negara sebesar 68.549 Ha Perkebunan Besar Swasta sebesar 123.750 Ha, dan Perkebunan Rakyat sebesar 227.847 Ha. Produksi gula pasir Indonesia berdasarkan status perusahaan 2.190.979 Ton. Perkebunan Besar Negara sebesar 302.275 Ton, Perkebunan Besar Swasta 674.599 Ton dan Perkebunan Rakyat sebesar 1.214.105 Ton [1]. Diperhitungkan ampas tebu yang dihasilkan mencapai 100 Ton /Ha. Jadi produksi ampas tebu nasional 39.539.944 Ton/Tahun [2]. Dari ampas tebu sebagai residu diubah menjadi bahan berguna yaitu sebagai karbon aktif. Luas permukaan pori – pori karbon aktif 300 – 3500 m<sup>2</sup>/gram [3]. Fisik karbon aktif memiliki pori – pori variasi dan ukuran mikro kurang dari 20 , ukuran meso 20 – 50 , dan ukuran makro melebihi dari 500 [4]. Berdasarkan penelitian sebelumnya karbonisasi pada suhu 450 selama 2 jam [5], sedangkan yang dilakukan oleh [6] karbonisasi 600 selama 2 jam. Pengontrolan karbonisasi perlu diperhatikan

agar tidak terlalu tinggi menjadi abu dan tidak terlalu pendek masih mempunyai kandungan air dan volatile. Dalam ini perlu ditetapkan pengontrolan suhu karbonisasi, dan activator variasi waktu aktivasi perlu dilakukan agar menentukan pengaruh waktu aktivasi kimia terhadap karakteristik dan performa karbon aktif. Adapun permasalahan yang perlu diteliti yaitu:

- Bagaimana karakteristik karbon aktif ampas tebu pada perlakuan variasi waktu aktivasi kimia ?
- Bagaimana performa daya adsorpsi karbon aktif ampas tebu terhadap *methylene blue* ?

Batasan penelitian ini ditetapkan sebagai berikut :

- Pengujian hanya meliputi uji *proximate*, uji adsorpsi *methylene blue*,
- Temperatur ruang kerja berada pada temperature ruangan.
- Standar pengujian *proximate* menggunakan ASTM D7582 MVA.
- Limbah ampas tebu diperoleh dari Pasar Tradisional Jimbaran, Bali.

- e. Semua limbah ampas tebu dianggap memiliki kualitas tumbuh yang sama.

## 2. Dasar Teori

Kandungan kimia pada tebu 3,28 % abu, 22,09 % lignin, 37,65 %, selulosa 1,81 % sari 27,97 % pentosan dan 3,01 %  $\text{SiO}_2$  [2]. Metode pembakaran bahan organik pada material baku disebut karbonisasi. Karbonisasi menjadikan terjadinya dekomposisi pada material organik baku dan menghilangkan volatile [7]. Aktivasi adalah perlakuan untuk memperbesar pori – pori karbon dengan metode pemisahan ikatan hirokarbon atau molekul – molekul permukaan dioksidasi sehingga terjadi modifikasi sifat fisika dan sifat kimia berupa meningkatnya luas permukaan spesifik dan daya adsorpsi. Faktor yang mempengaruhi proses aktivasi yaitu : waktu aktivasi, suhu aktivasi, ukuran partikel, rasio konsentrasi aktivator, dan jenis aktivator [8]. Aktivasi kimia yaitu metode pemisahan rantai karbon dari senyawa organik dengan zat pengaktif [9]. Zat pengaktif KOH,  $\text{ZnCl}_2$ , NaOH,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ , dan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  [10].

## 3. Metode penelitian

alat dan bahan yang dibutuhkan penelitian ini adalah :

### 3.1. Alat

1. Saringan 100 mesh,
2. PH meter,
3. Oven,
4. Loyang oven,
5. Thermocouple,
6. Penggerus,
7. Sikat,
8. Autoclave,
9. Labu Ukur,
10. pipet,
11. Penggerus porselen,
12. timbangan,
13. Pengaduk kaca,
14. Furnance,
15. Proximate Analyzer,
16. Spektroskopi UV-Vis

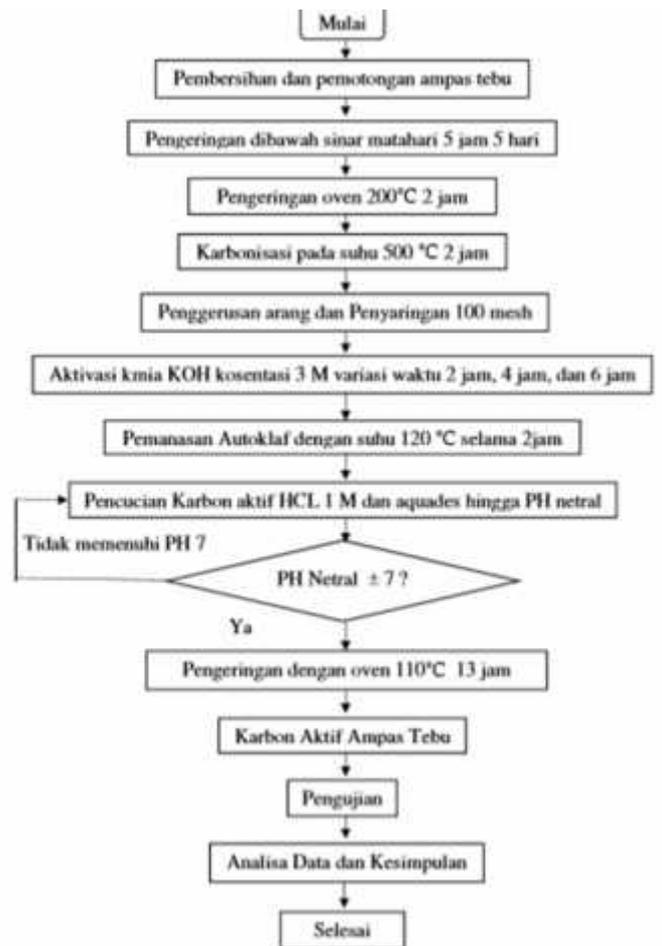
### 3.2. Bahan

1. Ampas tebu,
2. Larutan KOH 3 M,
3. Air,
4. Aluminium foil,
5. Larutan HCL 1 M,
6. Coating Au

7. pasir silica,
8. Aquades,
9. larutan timbal ( Pb ) 10 ppm,
10. methylene blue 10 ppm.

## 3.3. Diagram alir penelitian

Berikut gambar alir penelitian pembuatan karbon aktif ampas tebu dengan variasi aktivasi kimia sebagai berikut :



Gambar 1. Diagram alir penelitian

## 3.4. Proses Pembuatan Karbon Aktif

### a. Proses Dehidrasi

Proses ini ampas tebu dicuci dan dibersihkan menggunakan air agar bersih dari kotoran – kotoran karena sangat mempengaruhi pori – pori ampas tebu, setelah dicuci dikeringkan menggunakan oven 200 selama 2 jam.



**Gambar 2. Proses Dehidrasi menggunakan oven dengan suhu 200 selama 2 jam**

b. Proses Karbonisasi

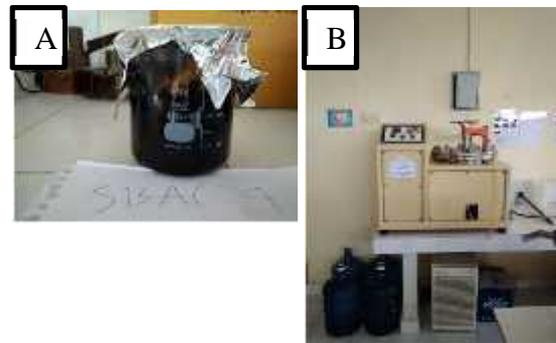
Pembentukan karbon pada bahan organik proses ini memerlukan suhu 500 selama 2 jam untuk menghilangkan kadar volatile. dicampur dengan pasir silica untuk meminimalisir oksigen setelah itu digerus dan disaring 100 mesh.



**Gambar 3 Proses Karbonisasi dengan suhu 500 selama 2 jam**

c. Proses Aktivasi

Aktivasi adalah proses paling penting yaitu untuk pembentukan pori – pori karbon aktif aktivasi menggunakan KOH konsentrasi 3 M dengan variasi waktu aktivasi kimia 2 jam, 4 jam, dan 6 jam kemudian di impregnasi menggunakan autoklaf 120 selama 2 jam agar pembentukan pori – pori dan menghilangkan volatile semakin maksimal kemudian dicuci menggunakan HCl 0.1 M agar karbon aktif netral.



**Gambar 4. (A) Aktivasi kimia KOH 3 M variasi waktu aktivasi kimia 2 jam, 4 jam, 6 jam ( B ) Impregnasi menggunakan Autoklaf**

**4. Hasil dan Pembahasan**

**4.1. Hasil Uji Proximate**

Pengujian proximate bertujuan untuk mengetahui kandungan karbon tetap, abu, volatile dan kandungan air dengan standar ASTM D7582 MVA. Presentase kandungan karbon tetap 100 % - kadar air kadar volatile, kadar abu.

**Tabel 1. Uji Proximate**

Tabel 1 menunjukkan uji proximate dengan standar ASTM D7582 MVA.

NO	Sampel	Kadar air (%)	Kadar <i>Volatile</i> (%)	Kadar Abu (%)	Kadar karbon tetap (%)
1	SBAC2	7.83	28.74	15.18	48.25
2	SBAC4	9.38	23.02	42.85	24.75
3	SBAC6	7.47	24.93	13.58	54.02
4	SNI	15	25	10	65

Semakin panjang durasi waktu aktivasi kimia semakin berkurang kadar *volatile*, disebabkan banyaknya garam yang masih terendap pada karbon aktif akibat durasi waktu yang panjang yang menyebabkan menurunnya kandungan oksida – oksida logam berupa mineral yang mudah menguap. Kadar volatile merupakan hasil dekomposisi zat – zat penyusun karbon akibat proses karbonisasi dan aktivasi [11]. Faktor sampel SBAC2 kadar *volatile* tinggi adalah

KOH sebagai aktivator menyebabkan terjadinya pengikisan atau pembentukan pori – pori karbon, sehingga kemampuan proses pemanasan berkurang, dalam kata lain aktivasi dilakukan pada waktu yang singkat maka kadar *volatile* yang menguap semakin besar [12]. Proses pembakaran bidang permukaan karbon aktif akan menghasilkan abu selama pembentukan pori, sehingga semakin banyak pori maka kadar abu yang dihasilkan semakin tinggi akibat waktu aktivasi semakin lama [13].

#### 4.2. Hasil Uji Adsorpsi Methylene Blue

Tujuan uji adsorpsi *methylene blue* yaitu menganalisa performa adsorpsi karbon aktif ampas tebu terhadap *methylene blue*. pengujian menggunakan spektroskopi UV-VIS panjang gelombang 664 nm.

**Tabel 2 . Hasil Uji Adsorpsi Methylene Blue**

Tabel 2 menunjukkan hasil uji adsorpsi *methylene blue* dengan Spektroskopi UV – VIS.

No	Sample	Konsentrasi sisa	Konsentrasi terserap ( ppm )	Daya adsorpsi ( mg/g )	Luas permukaan ( m <sup>2</sup> /g )	Presentase penyerapan ( % )
1	SBAC2	0.011	4.87	97.4	360.40	97.59
2	SBAC4	0.008	4.91	98.2	363.36	98.25
3	SBAC6	0.015	4.83	96.6	357.44	96.72

Konsentrasi sisa paling tinggi yaitu SBAC6. Banyaknya dinding pori – pori karbon aktif yang terkikis akibat waktu aktivasi kimia terlalu lama, selain itu karbon aktif sudah jenuh akibat waktu aktivasi kimia terlalu lama [14]. SBAC4 memiliki daya adsorpsi lebih tinggi, sebab waktu aktivasi kimia mempengaruhi pembentukan pori karbon lebih banyak dan lebih luas sehingga daya adsorpsinya lebih besar [4].

#### 5. Kesimpulan

Penelitian dengan judul ‘Variasi Waktu Aktivasi Kimia Terhadap Karakteristik Karbon Aktif Ampas Tebu Dan Adsorpsi *Methylene Blue*’ adapun beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Bertambahnya waktu aktivasi kimia dengan menggunakan KOH berdampak pada karakteristik ( karbon tetap)nya.

2. Bertambahnya waktu aktivasi kimia berdampak terhadap performa adsorpsi *methylene blue* semakin menurun.
3. SBAC2 adalah paling optimum dari ketiga sampel tersebut dengan memiliki kadar karbon tetap 48.25 % dan penyerapan *methylene blue* 97.59 %.

#### Daftar Pustaka

- [1] Badan Pusat Statistik, 2018. “*Statistik Tebu Indonesia 2017*”.
- [2] R. Setiati, D. Wahyuningrum, S. Siregar, and T. Marhaendrajana, 2016. “*Optimasi Pemisahan Lignin Ampas Tebu Dengan Menggunakan Natrium Hidroksida*,”.
- [3] M. Turmuzi and A. Syaputra, 2015. “*Pengaruh Suhu Dalam Pembuatan Karbon Aktif Dari Kulit Salak ( Salacca edulis ) Dengan Impregnasi Asam Fosfat ( H 3 PO 4 )*,” vol. 4, no. 1, pp. 42–46.
- [4] S Utomo, 2014 “*Pengaruh Waktu Aktivasi Dan Ukuran Partikel Terhadap Daya Serap Karbon Aktif Dari Kulit Singkong Dengan Aktivator NaOH*”.
- [5] M. Fitri, P. Sari, P. Loekitowati, and R. Mohadi, 2017. “*Penggunaan karbon aktif dari ampas tebu sebagai adsorben zat warna procion merah limbah cair industri songket*,” vol. 7, no. 1, pp. 37–40.
- [6] M. A. A. Akl, M. B. Dawy, and A. A. Serage, 2014. “*Analytical & Bioanalytical Techniques Efficient Removal of Phenol from Water Samples Using Sugarcane Bagasse Based Activated Carbon*,” vol. 5, no. 2.
- [7] R. W. Putri and S. Haryati, 2019. “*Pengaruh Suhu Karbonisasi Terhadap Kualitas Karbon Aktif Dari Limbah Ampas Tebu*,” *J. Tek. Kim.*, vol. Vol. 25, pp. 1–4.
- [8] L. E. Y. Ika Silvia Anggraeni, 2015. “*Pembuatan Karbon Aktif Dari Limbah Tempurung Siwalan ( Borassus Flabellifer L.) Dengan Menggunakan Aktivator Seng Klorida ( ZnCl2 ) Dan Natrium Karbonat ( Na2CO3 )*”.
- [9] K. Udyani, D. Y. Purwaningsih, R. Setiawan, and K. Yahya, 2019. “*Pembuatan Karbon Aktif Dari Arang Bakau Menggunakan Gabungan Aktivasi Kimia dan Fisika Dengan Microwave*,” pp. 39–46.
- [10] A. M. Abioye and F. Nasir, 2015.

- “Recent development in the production of activated carbon electrodes from agricultural waste biomass for supercapacitors: A review,”* *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 52, pp. 1282–1293.
- [11] E. Elvitriana *et al.*, 2017. **“Pengaruh Waktu Aktivasi Terhadap Karakteristik Adsorben Dari Kulit Pisang Kepok ( *Musa acuminata L* ) Yang Diaktivasi Secara Fisika,”**.
- [12] I. Subadra, B. Setiaji, and I. Tahir, 2005. **“Activated Carbon Production From Coconut Shell With (  $NH_4$  )  $HCO_3$  Activator As An Adsorbent In Virgin Coconut Oil,”**, pp. 1–8.
- [13] D. A. Suryani, F. Hamzah, 2018. **“Variasi Waktu Aktivasi terhadap Kualitas Karbon Aktif Tempurung Kelapa Activation Time Variation On Coconut Shell Activated,”** vol. 5, no. 1, pp. 1–10.
- [14] H. Andri Rizki, Ervan Syahputra, Setiaty Pandia, 2019 **“Pengaruh Waktu Kontak dan Massa Adsorben Biji Asam Jawa (*Tamarindus indica*) dengan Aktivator  $H_3PO_4$  terhadap Kapasitas Adsorpsi Zat Warna Methylene Blue,”** *J. Tek. Kim. USU*, vol. 08, no. 2, pp. 54–60.



Riza Surya Mahendra telah menyelesaikan studi program sarjana di program studi Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2016 sampai 2020. Ia menyelesaikan studi program sarjana dengan topik penelitian Variasi Waktu Aktivasi Kimia Terhadap Karakteristik Karbon Aktif Ampas Tebu. Area penelitian yang diminati adalah Rekayasa Manufaktur

# Karakterisasi Karbon Aktif dari Kulit Kopi dengan Variasi Konsentrasi Aktivator sebagai Adsorben Zat Warna Metilen Biru

Relius Zakaria Sibarani, Ni Made Dwidiani, IGN Nitya Santhiarsa  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

Karbon aktif ialah karbon yang telah diaktivasi sehingga mempunyai luas permukaan tinggi dan memiliki penyerapan yang baik terhadap senyawa atau molekul seperti metilen biru ataupun timbal. Limbah kulit kopi merupakan limbah yang sangat berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan dasar pembuatan karbon aktif karena ketersediaannya dilingkungan cukup banyak namun pemamfaatannya belum maksimal. Salah satu cara untuk memaksimalkan kinerja karbon aktif ialah dengan memvariasikan konsentrasi aktivator KOH agar diperoleh struktur permukaan terbaik. Variasi konsentrasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah perbedaan jumlah molar antara lain 2, 3 dan 4 Molar. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi larutan aktivator KOH akan semakin baik pula kualitas karbon aktifnya, namun konsentrasi ini memiliki titik jenuh, terbukti pada konsentrasi 4 molar kualitas karbonnya menurun. Penyerapan metilen biru pada 2 M, 3 M dan 4 M berturut-turut 95,42%, 98,91% dan 94,98%.

Kata kunci : kulit kopi, karbon aktif, KOH, metilen biru

## Abstract

Activated carbon is a carbon that has been activated so that it has a high surface area and good absorption of anions, cations and molecules in the form of organic and non-organic compounds, both in the form of liquid and gases. Coffee shell is a waste that has the potential to be used as a basis for making activated carbon because there is a lot of availability in the environment but its utilization is not yet optimal. One way to maximize the performance of activated carbon is to vary the KOH activator concentration in order to obtain the best surface structure. The variation of concentration conducted in this study is the difference in the number of molar, including 2, 3 and 4 molar. The test results show that increasing the concentration of KOH activator solution will improve the quality of activated carbon, but this concentration has a saturation point, as evidenced at a 4 molar concentration of carbon quality decreases. Absorption of methylene blue at 2 M, 3 M and 4 M were 95.42%, 98.91% and 94.98%.

Keywords : coffee shell, activated carbon, KOH, methylene blue

## 1. Pendahuluan

Karbon aktif ialah karbon atau arang yang telah diaktivasi sehingga mempunyai luas permukaan tinggi dan memiliki penyerapan yang baik terhadap senyawa atau molekul seperti metilen biru, timbal, Cd dll.

Di dunia, kebutuhan karbon aktif terbilang cukup besar. Hal ini ditunjukkan dengan meningkatnya kebutuhan dunia terhadap karbon aktif lebih dari 6% per tahunnya dan diduga mencapai 1.9 jt metric ton pada tahun 2020 dengan rincian 27% untuk Amerika Utara, 14% untuk Eropa Barat, 39% untuk Asia Pasifik, 7% untuk Amerika tengah dan selatan, 7% untuk Eropa Timur, 6% untuk Afrika [1]

Bahan dasar pembuatan karbon aktif yang digunakan adalah kulit kopi. Kulit kopi ialah limbah yang dihasilkan saat proses produksi biji kopi, di Indonesia limbah kulit kopi sangat banyak karena produksi biji kopi di Indonesia pun memang besar. Di Indonesia, limbah kopi ini belum dimanfaatkan secara baik dan maksimum, padahal dari produksi kopi dapat menghasilkan limbah kulit kopi mencapai 28,7%. Indonesia merupakan penghasil kopi terbesar ke empat setelah Brazil, Vietnam dan Kolombia.

Produksi kopi di Indonesia mencapai 612.000 ton per tahun 2018 [2]

## 2. Dasar teori

### 2.1. Karbon Aktif

Karbon aktif/arang aktif, merupakan arang yang diaktifkan melalui proses kimia maupun fisika. Definisi diaktifkan disini adalah membuka pori-pori arang yaitu dari luas  $2\text{m}^2/\text{g}$  menjadi  $300\text{-}3500\text{ m}^2/\text{g}$ . Susunan karbon aktif terdiri dari atom-atom terikat secara kovalen dalam sisi hexagonal dimana molekulnya berbentuk plat-plat datar. Konfigurasi bentuk pelat saling bertumpuk pada permukaannya dengan gugus hidrokarbon, sehingga dengan menghilangkan hidrogen dan bahan aktif (gugus hidrokarbon), maka permukaan dan pusat aktif menjadi luas [3]

Komponen dari karbon aktif ini terdapat beberapa bagian yaitu abu, karbon tetap, air, volatile, sulfur dan nitrogen. Terdapat 2 cara mengaktifkan karbon, yaitu dengan reaksi oksidasi lemah menggunakan uap air pada suhu yang relatif tinggi yakni berkisar antara  $900\text{-}1000^\circ\text{C}$  atau dengan cara dehidrasi bahan kimia. Banyak perusahaan kini memproduksi karbon aktif

dengan menggunakan kedua cara tersebut agar memperoleh luas permukaan spesifik yang maksimal.

## 2.2. Kulit Kopi

Tumbuhan kopi merupakan golongan genus *Coffea* keluarga *Rubiaceae*. Genus *coffea* memiliki lebih dari 100 anggota spesies. Kopi arabika, kopi robusta dan kopi liberika merupakan 3 spesies kopi yang dibudidayakan untuk tujuan komersial.

Buah kopi mempunyai empat bagian antara lain biji kopi, kulit biji kopi, lapisan lender dan kulit luar. Komposisi kopi terdiri dari karbon 57 %, kafeina 2.5%, protein 8-12 %, karbohidrat 50% dari berat biji kopi, selulosa 15-43% [4]

## 2.3. Aktivasi

Aktivasi adalah proses untuk membuat karbon menjadi aktif dengan menggunakan *treatment*. Aktivasi dilakukan bertujuan untuk meningkatkan luas permukaan dan daya serap karbon aktif. Terdapat dua cara atau metode yang sering digunakan untuk mengaktivasi yaitu aktivasi kimia dan fisika, pada penelitian ini digunakan aktivasi kimia karena yang menjadi variabel pada penelitian ini adalah variasi konsentrasi aktivator.

Aktivasi metode kimia ialah proses yang menggunakan bahan kimia untuk memutuskan rantai karbon dari senyawa-senyawa organik. Dalam tahap ini diperlukan senyawa kimia sebagai aktivator. Aktivator merupakan senyawa kimia yang digunakan sebagai pengaktif pada adsorben karbon aktif sehingga memiliki luas permukaan yang tinggi dan daya serap lebih baik. Zat aktivator berfungsi untuk melepaskan molekul air dan zat organik lainnya yang masih menempel pada karbon pada saat karbonisasi. Lalu aktivator akan menggerus pori dan membentuk pori pada permukaan karbon aktif. Aktivasi dapat dilakukan dengan cara merendam karbon kedalam larutan yang bersifat basa seperti KOH atau NaOH, asam seperti  $H_3PO_4$  atau  $H_2SO_4$  dan garam seperti NaCl [5]

Pada penelitian ini, digunakan aktivasi kimia dengan senyawa KOH sebagai aktivator dengan memvariasikan konsentrasinya. Pemilihan KOH sebagai aktivator berdasarkan fungsinya yakni sebagai agen dehidrasi karena tingginya afinitasi untuk air sehingga KOH memiliki sisi aktif berfungsi sebagai pengering, penghambat pembentukan tar, dan juga mengarahkan reaksi pembentukan arang pada temperatur di bawah  $200^{\circ}C$  [6]. Menurut Yong Xiao, pengaruh variasi konsentrasi aktivator dalam proses aktivasi kimia menentukan luas permukaan spesifik serta distribusi pori yang terbentuk pada permukaan karbon aktif [7].

## 2.4. Metilen Biru

Zat ini sering digunakan sebagai pewarna kain, wol, tekstil, peralatan kantor, kertas dan kosmetik. Metilen biru mempunyai berat molekul 320,5 gr/mol,

dengan daya larut sebesar  $4,36 \times 10^4$  mg/L dan titik leburnya  $105^{\circ}C$

Peraturan menteri lingkungan hidup yang tertuang dalam Kep-51 / MENLH / 10 / 1995 tentang limbah cair, kepekatan maksimum zat metilen biru yang diizinkan yaitu 5-10 mg/L atau 5 - 10 ppm [8]. Pengujian daya serap metilen biru menggunakan alat spektroskopi UV- Vis. Konsentrasi metilen biru yang terserap digunakan untuk menghitung luas permukaan karbon aktif :

$$X_{m_{\text{metilen biru}}} = \frac{V}{1000} \times C_{\text{metylene blue}} \quad (1)$$

$$\text{Luas permukaan (S)} : \frac{W}{M_r} \quad (2)$$

Dimana :

A = Luas penampang metilen biru ( $197 \times 10^{-20}$  m<sup>2</sup>/molekul )

C = Konsentrasi metilen biru yang teradsorpsi ( mg/L )

Mr = masa relative metilen biru ( gr/mol )

N = Bilangan Avogadro ( $6,02 \times 10^{23}$  molekul/mol )

V = Volume larutan metilen biru ( ml )

W = Berat karbon (gr)

Xm = Kapasitas adsorpsi metilen biru (mg/g)

Keterangan :

Volume larutan metilen biru = 20 ml

W = 0,1 gr

Mr  $C_{16}H_{18}ClN_3S$  = 320,5 g/mol

Konsentrasi metilen biru yang teradsorpsi didapat dari alat spektroskopi UV- Vis.

## 3. Metode Penelitian

### 3.1. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental. Proses pembuatan bahan karbon aktif yang dijelaskan pada skema desain penelitian sebagai berikut.



Gambar 1. Skema Desain Penelitian

### 3.2. Peralatan Pengujian

- Oven untuk pengeringan.
- Kendi dari tanah liat sebagai wadah untuk pemanasan material.
- Loyang oven untuk wadah material.
- Furnace untuk karbonisasi.
- Thermocouple* mengetahui suhu karbonisasi.
- Mortal untuk menghaluskan arang.
- Saringan 100 *mesh* untuk menyaring arang.
- Timbangan
- Proximate Analyzer* untuk menganalisis kandungan karbon dari sampel karbon aktif.
- SEM*

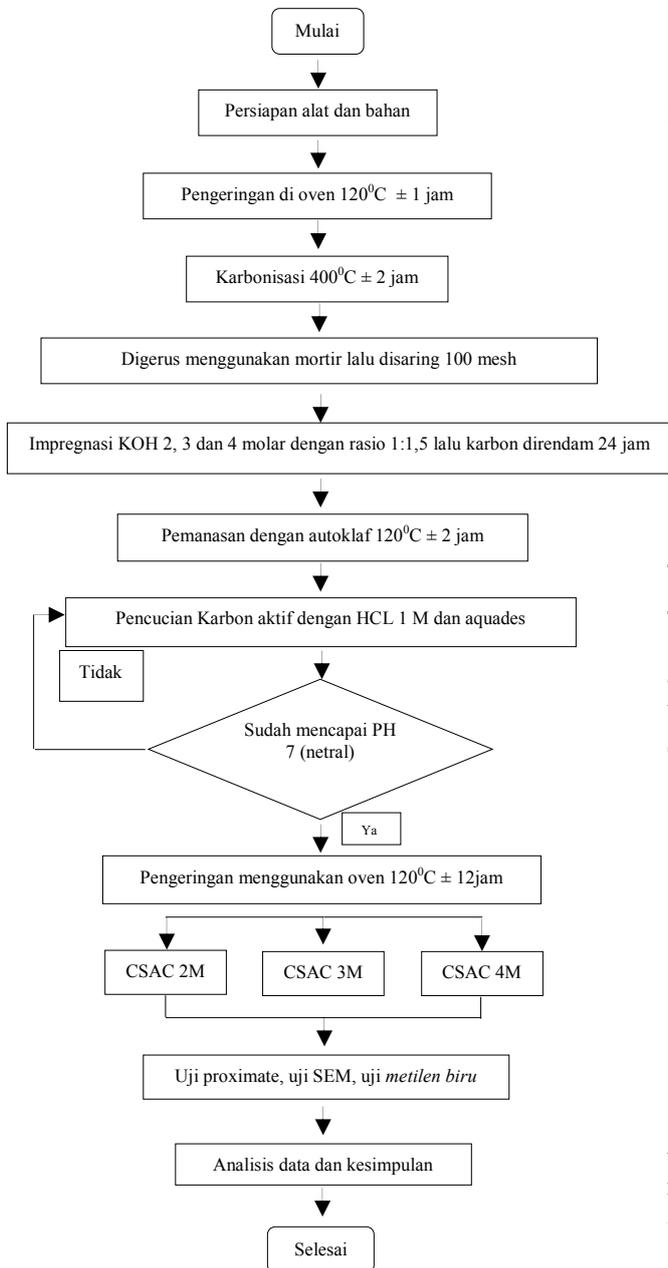
### 3.3. Variabel Penelitian

1. Variabel bebas

- Konsentrasi KOH 2, 3 dan 4 Molar

2. Variabel terikat
  - a. Morfologi permukaan karbon aktif
  - b. Daya serap metilen biru
3. Variabel kontrol
  - a. Suhu karbonisasi, suhu pengeringan.

### 3.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Langkah-Langkah Penelitian

### 3.5 Prosedur Pelaksanaan

Adapun tahapan pembuatan arang aktif/karbon aktif terdiri dari 3 tahap utama, yakni tahap pengeringan, karbonisasi, dan aktivasi. Adapun penjelasannya sebagai berikut.

#### 1. Tahap Pengeringan

- a. Kulit kopi dikeringkan didalam oven selama 3

jam pada suhu 120°C.

#### 2. Tahap Karbonisasi

- a. Kulit kopi dibakar di dalam *furnace*/tanur 2 jam dengan suhu 400°C. Dalam proses karbonisasi ini untuk meminimalisir reaksi dengan oksigen, digunakan pasir silika (*silicon dioxida*) sebagai pengisi ruang kosong dalam tempat karbonisasi.
- b. Arang kulit kopi dihaluskan dengan mortir.
- c. Arang kemudian diayak menggunakan saringan 100 mesh.

#### 3. Tahap Aktivasi

- a. Arang kulit kopi dicampur dengan larutan KOH dan direndam selama 24 jam dengan variasi konsentrasi 2,3 dan 4 molar serta rasio berat (KOH : arang) 1,5:1.
- b. Sampel diautoklaf 120°C selama 3 jam
- c. Karbon aktif dicuci dengan larutan HCL sampai mendekati PH 7 antara PH 8-9 lalu dibilas dengan *aquades* hingga pH 7 netral.
- d. Karbon aktif dikeringkan dalam oven pada suhu 120°C selama 12 jam.
- e. Karbon aktif yang sudah dikeringkan siap untuk diuji.

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1 Uji Proximate

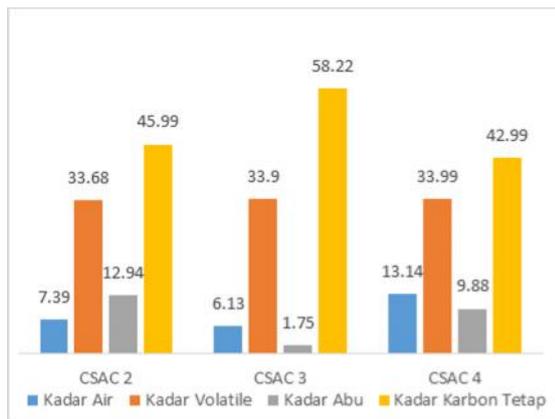
Uji proximate ini untuk mengetahui kandungan dari karbon aktif berupa kadar air, kadar abu, kadar volatile dan *fixed carbon*.

Tabel 1. Data Hasil Uji Proximate

Sampel	Kadar Air (%)	Kadar Volatile (%)	Kadar Abu (%)	Kadar Karbon Tetap (%)
CSAC 2	7,39	33,68	12,94	45,99
CSAC 3	6,13	33,90	1,75	58,22
CSAC 4	13,14	33,99	9,88	42,99

Berdasarkan data tabel di atas, kadar karbon tetap tertinggi pada sampel CSAC 3 yaitu 58,22 %. Besar nilai karbon tetap dipengaruhi dengan nilai kadar abu, kadar air dan kadar volatile, jika nilai ketiganya semakin rendah maka otomatis nilai kadar karbon tetap semakin tinggi.

Berdasarkan data grafik di atas, terlihat bahwa kadar air terendah pada CSAC 3, hal ini disebabkan karena sifat *dehydrating agent* yang dimiliki aktivator KOH cukup baik pada konsentrasi optimum yaitu 3 molar untuk menurunkan kadar air dari karbon aktif [8].

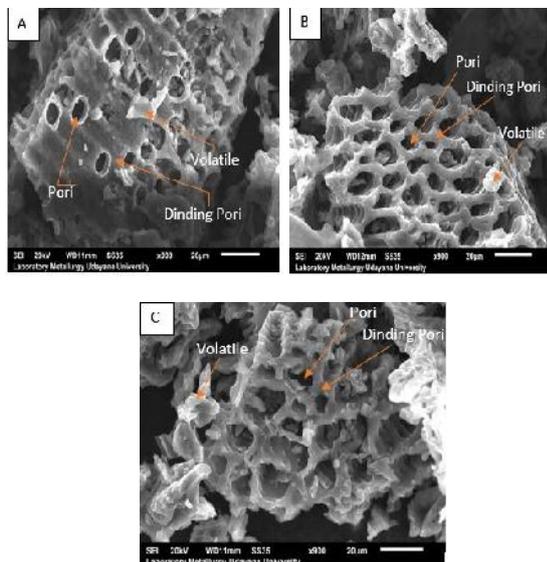


Gambar 3. Grafik Hasil Uji Proximate

Kadar volatile sampel dengan variasi konsentrasi tidak menunjukkan perbedaan nilai yang signifikan, namun cenderung meningkat seiring meningkatnya konsentrasi aktivator KOH, hal ini disebabkan oleh suhu karbonisasi kurang tinggi sehingga masih banyak gas-gas yang belum terurai/masih terperangkap sehingga menimbulkan volatile.

Abu ialah pengotor yang dapat mempengaruhi kualitas karbonnya. Berdasarkan SNI-06-3730-1995 karbon aktif yang baik memiliki kadar abu maksimal 10%. Nilai kadar abu paling rendah pada CSAC 3 yaitu 1,75 %, baik dan masih sesuai standart SNI [9].

#### 4.2 Uji SEM



Gambar 4. Morfologi Permukaan Karbon Aktif dengan Pembesaran 900x;  
(a) CSAC 2 M, (b) CSAC 3 M, (c) CSAC 4 M

##### 4.2.1 Bentuk

Gambar 4 (a) menunjukkan morfologi bentuk pori dari sampel CSAC 2 terlihat masih belum banyak pori yang terbentuk dan tidak teratur, untuk sampel (b) CSAC 3 lebih banyak pori dan bentuk struktur

pori nya lebih teratur, sedangkan pada sampel (c) CSAC 4 banyak pori yang terbentuk namun terlihat dinding pori rusak/runtuh sehingga struktur porinya tidak teratur.

Berdasarkan bentuk pori masing-masing sampel, dapat dijelaskan bahwa konsentrasi aktivator KOH dapat mempengaruhi bentuk pori karbon aktif, pada konsentrasi KOH 3 Molar merupakan konsentrasi yang optimum karena lebih banyak pori dan bentuk struktur porinya lebih teratur.

##### 4.2.2 Bagian

Terdapat 3 bagian utama dari struktur karbon aktif yang ditunjukkan oleh hasil gambar SEM, yakni bagian pori-pori, dinding pori dan volatile (zat terbang/pengotor). Berdasarkan gambar bagian-bagian karbon aktif, terlihat pada setiap sampel masih terdapat volatile/zat pengotor. Hal ini disebabkan oleh proses pencucian yang kurang maksimal.

#### 4.3 Uji Adsorpsi Metilen Biru

Uji penyerapan dilakukan untuk melihat seberapa besar kemampuan karbon aktif dari kulit kopi untuk menyerap zat *methylene blue*.

Karbon ditimbang 0,1 g lalu dicampur kedalam larutan metilen biru 5 ppm 20 ml setelah itu diaduk dengan magnetic stirrer selama 15 menit. Kemudian dilakukan penyaringan dengan kertas *whatman* dan hasil filtratnya diukur konsentrasinya dengan spektro UV-VIS. Panjang gelombang spektro UV VIS 664 nm. Hasil adsorpsi ditunjukkan pada table berikut.

Tabel 2. Data Hasil Uji Adsorpsi

Sampel	C <sub>sisa</sub> (ppm)	C <sub>terserap</sub> (ppm)	X <sub>m</sub> (mg/g)	S (m <sup>2</sup> /mg)	(%)
CSAC2	0,23	4,77	95,4	353,55	95,42%
CSAC3	0,05	4,95	99	366,32	98,91%
CSAC4	0,25	4,75	95	351,52	94,98%

Dari tabel terlihat bahwa sampel CSAC 3 memiliki daya adsorpsi yang paling tinggi dengan nilai 99 mg/g. Daya adsorpsi terendah terlihat pada sampel CSAC 4. Pada sampel CSAC 2 dan CSAC 3 terjadi peningkatan daya adsorpsi seiring dengan peningkatan konsentrasi molar, namun pada CSAC 4 dengan konsentrasi 4 molar daya adsorpsi menurun yang menandakan nilai konsentrasi sudah melewati batas optimum [10]. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi 3 molar merupakan konsentrasi optimum pada penyerapan metilen biru. Semakin besar daya adsorpsi maka luas permukaan adsorben juga semakin besar.

#### 5. Kesimpulan

1. Konsentrasi aktivator berpengaruh pada karakteristik yaitu kadar karbon tetap dan morfologi permukaan karbon aktif dari kulit

kopi. Dengan meningkatnya konsentrasi 2, 3 dan 4 molar karbon tetap meningkat dari 45,99% menjadi 58,22% kemudian menurun menjadi 42,99%. Dapat disimpulkan bahwa konsentrasi optimum berada di 3 molar.

2. Konsentrasi aktivator berpengaruh pada performance penyerapan metilen biru. Dengan meningkatnya konsentrasi 2, 3 dan 4 molar nilai penyerapan metilen biru meningkat dari 95,42% menjadi 98,91% kemudian menurun menjadi 94,98%. Dapat disimpulkan untuk *performance* penyerapan metilen biru optimum di konsentrasi 3 molar.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Group, T. F., 2016, *World Activated Carbon*, Order A Journal on The Theory of Ordered Sets and Its Applications, pp. 1–8.
- [2] *Organition, I. coffee* (2019) '*Production Coffee by all exporting countries*', (July), pp. 1–9. doi: .1037//0033-2909.I26.1.78.
- [3] Hartanto, S., and Ratnawati., 2010 '*Pembuatan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit dengan Metode Aktivasi Kimia*', Jurnal Sains Materi Indonesia, 12(1), pp. 12–16. Available at: <http://jurnal.batan.go.id/index.php/jsmi/article/view/4588/4002>.
- [4] Ayu anggraini P., dkk 2017, 2013, *Kajian Kapasitas Adsorpsi Arang Kulit Kopi Robusta Teraktivasi ZnCl<sub>2</sub> Terhadap Ion Pb (II)*, Journal of Chemical Information and Modeling, 53(9), pp. 1689–1699. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- [5] Rohmah, P. M., and Redjeki, A. S., 2014 *Pengaruh Waktu Karbonisasi pada Pembuatan Karbon aktif Berbahan Baku Sekam Padi dengan Aktivator KOH*, Jurnal Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- [6] Hwang, Y. J., et al., 2007, *Pyrolytic Carbon Derived From Coffee Shells As Anode Materials For Lithium Batteries*, Journal of Physics and Chemistry of Solids, 68(2), pp. 182–188. doi: 10.1016/j.jpics.2006.10.007.
- [7] Xiao, Z., et al., 2018, *Porous Biomass Carbon Derived From Peanut Shells As Electrode Materials With Enhanced Electrochemical Performance For Supercapacitors*, International Journal of Electrochemical Science, 13(6), pp. 5370–5381. doi: 10.20964/2018.06.54.
- [8] Nurfitriana, N., et al., 2019, *Pengaruh Konsentrasi Aktivator Kalium Hidroksida*

*(KOH) pada Karbon Aktif dan Waktu Kontak Terhadap Daya Adsorpsi Logam Pb dalam Sampel Air Kawasan Mangrove Wonorejo, Surabaya*, Akta Kimia Indonesia, 4(1), p. 75. doi: 10.12962/j25493736.v4i1.5071.

- [9] Fitriyani Faujjiah., 2012, *Pemamfaatan Karbon Aktif dari Limbah Padat Industri Agar-Agar Sebagai Adsorben Logam Berat dan Bahan Organik dari Limbah Industri Tekstil*, Jurnal Ilmu Kelautan IPB.
- [10] Arlofa, N., 2016, *Kondisi Optimum Konsentrasi Aktivator dan Suhu Biosorben Pada Zat Warna Tekstil*, Jurnal Kimia Universitas Serang Raya, pp. 1–7.



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

I Made Oka Nugraha, I Gusti Bagus Wijaya Kusuma dan A.A.I.A.S. Komaladewi

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

---

## Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengubah ukuran Kondensor pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap yang memiliki ukuran awal sangat besar menjadi ringkas dan tetap memiliki performansi dalam hal ini adalah efektivitas dari kondensor itu sendiri tetap atau lebih baik. Penelitian ini menggunakan teori keefektifitasan NTU dan untuk mendapatkan dimensi dari penukar panas, pada penelitian ini menggunakan pemrograman komputer dengan bahasa program Python untuk melakukan perhitungan iterasi agar mendapatkan dimensi kondensor yang ringkas namun memiliki kinerja yang lebih baik. Berdasarkan data yang didapatkan, penelitian ini memperoleh desain penukar panas yang paling ringkas. Dimensi dari penukar panas ini adalah 1ft x 2ft x 5ft. dimensi ini sangatlah ringkas dimana volume total yang didapatkan kurang dari 50ft<sup>3</sup>. Sedangkan nilai luasan perpindahan panas per volume ( $\beta$ ) ialah 367,62 ft<sup>2</sup>/ft<sup>3</sup> yang dimana sudah memenuhi persyaratan ( $\beta > 213,35$  ft<sup>2</sup>/ft<sup>3</sup>).

Kata kunci: Penukar panas ringkas, condenser, pemrograman

## Abstract

This study aims to change the size of the Condenser in Gas and Steam Power Plants which has a very large initial size to be concise and still have performance in this case is the effectiveness of the condenser itself is fixed or better. This study uses the theory of effectiveness of NTU and to get the dimensions of the heat exchanger, in this study using computer programming with the Python program language to do iteration calculations to get a condenser dimension that is concise but has better performance. Based on the data obtained, this study obtained the most concise heat exchanger design. The dimensions of this heat exchanger are 1ft x 2ft x 5ft. this dimension is very concise where the total volume obtained is less than 50ft<sup>3</sup>. While the value of the area of heat transfer per volume ( $\beta$ ) is 367.62 ft<sup>2</sup> / ft<sup>3</sup> which meets the requirements ( $\beta > 213.35$  ft<sup>2</sup> / ft<sup>3</sup>).

Keywords: Compact heat exchanger, condenser, programming

---

## 1. Pendahuluan

Listrik merupakan sumber energi yang sangat penting bagi kehidupan manusia, Kebutuhan listrik dari tahun ke tahun semakin meningkat seiring dengan laju pertumbuhan penduduk, Untuk memenuhi kebutuhan listrik di Jakarta, daya pembangkitan di PLTGU Tanjung Priok harus ditingkatkan, akan tetapi kebutuhan lahan pengembangan yang menjadi kendala karena PLTGU Tanjung Priok yang berlokasi dipinggir pantai. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efektivitas alat penukar kalor adalah dengan mengubah menjadi bentuk yang ringkas. Kondensor merupakan salah satu komponen utama pada sistem pembangkit listrik dan merupakan komponen penukar kalor yang sangat penting. Namun Kondensor yang di gunakan pada PLTGU Tanjung Priok memiliki dimensi yang sangat besar dan tentu saja hal tersebut akan berpengaruh terhadap efektivitas yang di hasilkan. Maka dari itu penulis ingin menganalisa Kondensor yang ada di PLTGU Tanjung Priok tersebut agar bisa menghasilkan efektivitas yang lebih baik namun dengan dimensi yang lebih ringkas.

Dalam hal ini maka ada permasalahan yang akan dikaji bagaimana cara me-redesain compact heat exchanger pada kondensor di PLTGU Tanjung

Priok dengan menggunakan program komputer namun memiliki kinerja yang sama atau lebih baik dari kondensor yang ada sebelumnya.

Beberapa batasan ditetapkan dalam penelitian ini meliputi:

1. Perhitungan komputasi dan analisa dilakukan berdasarkan pada perpindahan panas dan termodinamika yang terjadi pada kondenser.
2. Kinerja yang dibahas adalah efisiensi sirip, efektivitas kondensor dan penurunan tekanan yang terjadi
3. Tidak membahas kekuatan material dan bahan
4. Tidak memperhitungkan *fouling factor*.

## 2. Dasar Teori

Penukar panas ringkas atau yang biasa disebut *Compact heat exchangers* (CHEs) adalah teknologi yang sudah biasa digunakan seperti dalam industri otomotif, *aerospace* dan lainnya. CHEs juga dapat di artikan sebagai penukar panas yang memiliki luasan penukaran panas tinggi. Sirip (FIN) merupakan hal khusus dari sebuah CHEs. Sirip disini berfungsi untuk menambah luas perpindahan panas pada CHEs, sehingga dengan desain yang ringkas CHEs akan tetap mendapatkan kinerja penukaran panas

yang sama dengan *heat exchangers* awal yang memiliki dimensi yang lebih besar.

Total keefisienan sirip dapat dihitung dengan persamaan [1]:

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

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

$\eta_f$  = Efisiensi 1 sirip

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

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

U = Koefisien Perpindahan Panas Total (BTU/hr.ft<sup>2</sup>.°F)

$\alpha$  = Luas Perpindahan Panas Total per Volume Total

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

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

Cr = Rasio Laju Kapasitas

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

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

G = Mass Flux (lbm/hr.ft<sup>2</sup>)

gc = Percepatan Gravitasi (ft/hr<sup>2</sup>)

v = Volume Spesifik (ft<sup>3</sup>/lbm)

### 3. Metode Penelitian

Penelitian ini memakai metode keefktivitasan-NTU agar memperoleh nilai performansi *condenser* yang di maksud adalah keefktivitasan dan *pressure drop* yang terjadi. Mengenai alasan memakai metode efektivitas-NTU adalah karena penelitian ini bertujuan untuk mendesain suatu penukar panas. Apabila penukar panas sudah memiliki hasil, maka analisa harus memakai metode *log mean temperature difference* (LMTD) [4].

Sedangkan untuk memperoleh dimensi penukar panas ringkas dan melakukan perhitungan secara matematis, penelitian ini memakai aplikasi *PyCharm IDE* dengan bahasa pemrograman *Python*.

Analisa piranti lah yang sering di gunakan pada Penelitian ini. Adapun Langkah-langkah penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Memasukan data input lapangan  
Thi, Tho,  $\dot{m}_{gas}$ , Ph, Tci, Tco,  $\dot{m}_{water}$ ,  $\dot{m}_{uap}$ , Pc
2. Mencari sifat air dan gas berdasarkan  $\Delta T$  fluida  
 $\mu$ , k, Pr, Cp,  $\rho$
3. Mencari harga pertukaran panas dan harga keefktivitasan boiler awal
4. Mencari parameter lain yang dibutuhkan
5. Memasukan data yang di dapatkan ke program komputer (*PyCharm IDE*)
6. Memulai proses iterasi yang dilakukan secara komputional
7. Mendapatkan dimensi *compact heat exchanger* dan nilai properties dari *compact heat exchanger*

### 4. Hasil dan Pembahasan

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

1. Fluida Panas

Thi = 330 °F  
Tho = 210 °F  
 $\dot{m}_h$  = 13.792 lbm/hr  
Ph = 30 Psig

2. Fluida Dingin

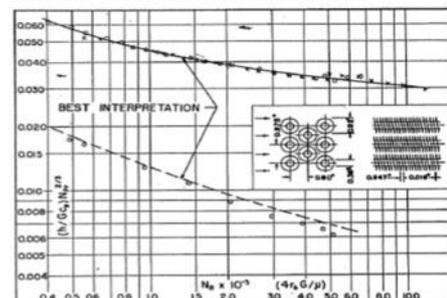
Tci = 85 °F  
Tco = 170 °F  
 $\dot{m}_c$  = 91.278 lbm/hr  
Pc = 2 Psig

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan properti laju kapasitas pada kedua fluida, didapatkan keefktivitas *kondensor* yang ada saat ini ialah 0,48 atau 48%.

#### 4.1. Spesifikasi Pipa dan Sirip

Spesifikasi pipa dan sirip yang digunakan dalam mendesain penukar panas ringkas dalam penelitian ini menggunakan *surface CF-8.72* [1]. Adapun spesifikasi yang digunakan ialah:

Fig. 10-76. Finned circular tubes, surface CF-8.72.



Tube outside diameter = 0.38 in.  
Fin pitch = 8.72 per in.  
Flow passage hydraulic diameter,  $4r_s = 0.01288$  ft  
Fin thickness (average)\* = 0.018 in., aluminum  
Free-flow area/frontal area,  $\sigma = 0.524$   
Heat transfer area/total volume,  $\alpha = 163$  ft<sup>2</sup>/ft<sup>3</sup>  
Fin area/total area = 0.910

Note: Experimental uncertainty for heat transfer results possibly somewhat greater than the nominal ±5% quoted for the other surfaces because of the necessity of estimating a contact resistance in the bi-metal tubes.

\* Fins slightly tapered.

Gambar 1. Spesifikasi Pipa dan Sirip

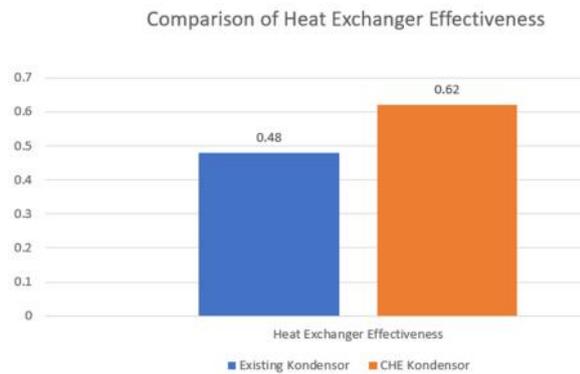
#### 4.2. Keefesiensian Sirip

Berdasarkan persamaan (1) keefesiensian pada 1 sirip ialah 0,852 atau 85,2% sehingga keefesiensian sirip total ialah 0,865 atau 86,5%. Harga dari keefesiensian sirip total ini ialah sangat tinggi dimana hal ini berdampak baik pada perpindahan panas yang akan terjadi pada penukar panas ringkas.

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

#### 4.3. Keefektivan Penukar Panas Ringkas

Dengan menggunakan persamaan (2) didapatkan harga dari *Number of Heat Transfer Unit* sebesar 2,1. Dengan didapatkannya harga dari NTU, maka keefektivitasan dari penukar panas ringkas ini dapat ditentukan. Dengan menggunakan persamaan (3), nilai keefktivitasan penukar panas ringkas sendiri adalah sebesar 0,62 atau 62%. Dimana nilai keefktivitasan ini lebih besar dibandingkan dengan keefktivitas pada *kondenser* sebelumnya. Perbandingan dari keefktivitas kondensor dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Perbandingan Keefktivitasan Kondensor

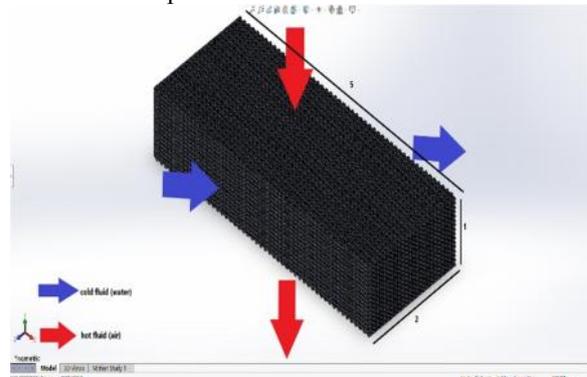
#### 4.4. Kondensor Pressure Drop

Pada penelitian ini, penukar panas terjadi memiliki sifat *cross flow both fluid unmixed*. Oleh karena itu digunakan persamaan (4) untuk menentukan *pressure drop* yang terjadi. *Pressure drop* terjadi sebesar 0,1034 Psig pada sisi fluida panas, dimana *pressure drop* ini sangatlah kecil sehingga daya yang di timbulkan tidak mempengaruhi kinerja dari penukar panas.

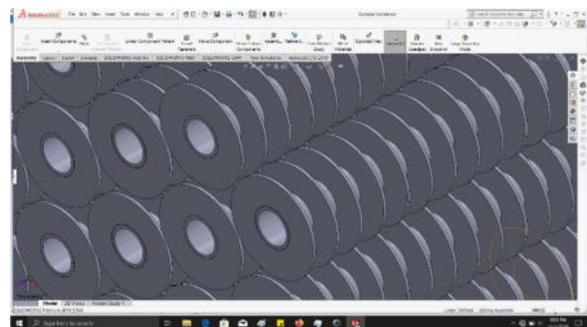
#### 4.4. Desain Penukar Panas Ringkas

Penelitian ini dilangsungkan untuk mendapatkan desain penukar panas ringkas yang paling ringkas dengan cara perhitungan iterasi. Perhitungan iterasi dilakukan dengan menggunakan aplikasi *PyCharm IDE* yang dilakukan sebanyak 1000 kali perhitungan (dikarenakan ditentukan batas

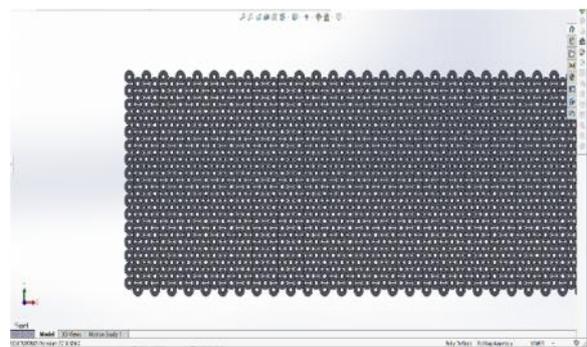
minimal pada satu sisi ialah 1ft sampai 10ft). Adapun ukuran dari penukar panas yang didapat ialah 1ft x 2ft x 5ft dengan volume total ialah 10ft<sup>3</sup>. Desain dari penukar panas dapat dilihat pada Gambar 3 sampai Gambar 6.



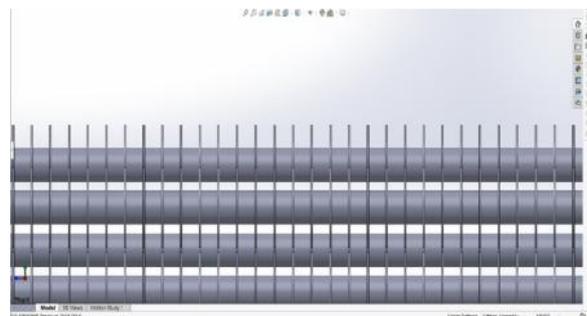
Gambar 3. Desain Penukar Panas Ringkas



Gambar 4. Desain Sirip dan Pipa



Gambar 5. Pipa disusun secara Staggered



Gambar 6. Sisi Samping Pipa dan Sirip

## 5. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah bentuk penukar panas telah memenuhi persyaratan Compact Heat Exchanger, karena memiliki persyaratan sebagai berikut:

1. Keefektivitasan pada penukar panas ringkas meningkat, hal ini dikarenakan penambahan sirip yang berfungsi sebagai *extended surfaces of heat exchanger*.
2. Penelitian ini memperoleh ukuran penukar panas ringkas sebesar 1ft x 2ft x 5ft dengan volume perpindahan panas total sebesar 10ft<sup>3</sup>.
3. Penurunan tekanan yang terjadi pada penukar panas ringkas ini sebesar 0,1034 Psig yang dimana penurunan tekanan yang tidak berpengaruh.
4. Terdapat total jumlah pipa sebanyak 1600 pipa dan total jumlah sirip sebanyak 348.800 buah pada kondesor.

## Daftar Pustaka

- [1] W. M. Kays, A. L. London, 1964, *Compact Heat Exchanger*, McGraw Hill, New York.
- [2] Kern, D. O, 1983, *Process Heat Transfer, International Student Edition*, John Wiley & Sons, Hoboken. Japan: Mc.Graw Hill International Company.
- [3] Hammock, G. L., 2011, *Staggered Tube Heat Exchanger Analysis for High Enthalpy Flows*, Knoxville: University of Tennessee.
- [4] W. M. Rohsenow, J. P. Hartnett, Y. I. Cho, 1998, *Handbook of Heat Transfer (Third Edition)*, McGraw-Hill, New York.



**I Made Oka Nugraha** menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana pada Program Studi Teknik Mesin, pada tahun 2020.

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

# Analisa Redesain Penukar Panas Ringkas pada *Heat Recovery Steam Generator* di PLTGU

Dewa Gede Adi Darma Saputra, I Gusti Bagus Wijaya Kusuma dan N. Suarnadwipa

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis HRSG pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap yang ukuran awalnya sangat besar menjadi lebih ringkas serta dapat menghasilkan efisiensi dan efektivitas yang lebih baik dari sebelumnya. Pada penelitian ini menggunakan pemrograman komputer dengan bahasa program *Python* untuk melakukan iterasi agar mendapatkan dimensi yang paling ringkas namun memiliki kinerja yang lebih baik. Berdasarkan dari data yang diperoleh dan setelah melakukan iterasi, penelitian ini memperoleh desain penukar panas yang paling ringkas ialah 1ft x 2ft x 6ft, dimana volume total yang didapatkan ialah 12ft<sup>3</sup>. Sedangkan nilai luasan perpindahan panas per volume ( $\beta$ ) ialah 281.167 ft<sup>2</sup>/ft<sup>3</sup> yang dimana sudah memenuhi persyaratan dari ( $\beta > 213.35$  ft<sup>2</sup>/ft<sup>3</sup>). Luas perpindahan panas total ( $A_o$ ) ialah 1026,43 ft<sup>2</sup>, diameter pipa yang digunakan ialah Diameter luar sebesar 0,02625 ft dan diameter dalam sebesar 0,023125 ft.

*Kata kunci: HRSG, Penukar panas ringkas, pemrograman python*

## Abstract

*This study aims to analyze HRSG in Gas and Steam Power Plants whose initial size is very large to be more concise and can produce efficiency and effectiveness better than before. In this study using computer programming with the Python program language to iterate to get the most concise dimensions but have better performance. Based on the data obtained and after iterating, this study obtained the most concise heat exchanger design which is 1ft x 2ft x 6ft, where the total volume obtained is 12ft<sup>3</sup>. While the value of the area of heat transfer per volume ( $\beta$ ) is 281,167 ft<sup>2</sup> / ft<sup>3</sup> which meets the requirements of ( $\beta > 213.35$  ft<sup>2</sup> / ft<sup>3</sup>). The total heat transfer area ( $A_o$ ) is 1026.43 ft<sup>2</sup>, the diameter of the pipe used is the outer diameter of 0.02625 ft and the inner diameter of 0.023125 ft*

*Keywords: HRSG, Compact heat exchanger, python programming*

## 1. Pendahuluan

Energi listrik merupakan energi utama yang digunakan pada peralatan elektronik, energi listrik merupakan energi utama yang diperlukan hampir di seluruh sisi kehidupan mulai dari industri sampai dengan kehidupan sehari-hari. Seiring perkembangan zaman kebutuhan energi listrik semakin meningkat diseluruh dunia, maka dari itu pasokan energi listrik harus ditambah menyesuaikan dengan kebutuhan yang ada. Disisi lain meningkatnya permintaan energi listrik maka unit pembangkit harus ditambah, dan penambahan unit pembangkit memerlukan lahan yang cukup luas. Salah satu solusi yang diperlukan agar tidak menggunakan lahan yang luas yaitu meringkas komponen dari suatu unit pembangkit yang salah satunya ialah *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG). HRSG merupakan komponen yang berfungsi untuk memanfaatkan gas sisa pembakaran dari turbin gas yang digunakan untuk memanaskan air menjadi uap dan digunakan untuk menggerakkan turbin uap. Adapun permasalahan yang akan dikaji, yaitu bagaimana cara meringkas sistem HRSG agar memiliki dimensi yang ringkas namun memiliki kinerja yang lebih baik.

Beberapa batasan yang ditetapkan dalam penelitian ini meliputi:

1. Perhitungan menggunakan program komputasi dan analisa yang akan dilakukan berdasarkan pada perpindahan panas dan termodinamika yang terjadi pada HRSG.
2. Kinerja yang akan dibahas mencakup efektivitas pada HRSG dan penurunan pressure yang terjadi.
3. Kekuatan material dan bahan tidak dibahas dalam penelitian ini.

## 2. Dasar Teori

Perpindahan panas/kalor merupakan suatu energi yang berpindah berdasarkan perbedaan suhu. Panas/kalor berpindah dari tempat yang memiliki suhu tinggi ke tempat yang bersuhu rendah. Setiap benda memiliki energi dalam yang berhubungan dengan gerak acak dari atom ataupun molekul penyusunnya. Dalam hal ini perpindahan panas dapat melalui 3 cara yaitu:

1. Konveksi merupakan perpindahan panas pada kondisi dimana energi panas dipindah ke fluida mengalir pada permukaan di atas aliran yang terjadi.
2. Radiasi merupakan perpindahan panas yang tidak memerlukan perantara apapun

- Konduksi merupakan perpindahan panas melalui zat perantara tanpa disertai dengan perpindahan zat perantara tersebut.

persamaan yang digunakan untuk menghitung harga perpindahan panas :

$$q = \dot{m} \cdot h \cdot C_p \cdot h \cdot (Thi - Tho) \quad (1)$$

$\dot{m}$  = laju aliran massa

$C_p$  = panas spesifik

untuk mengetahui kerja suatu penukar panas lebih mudah bila menggunakan metode keefktivitasan NTU. NTU sendiri didefinisikan sebagai [1]:

$$NTU = \frac{U \cdot A_o}{C_{min}} \quad (2)$$

$U$  = Koefisien Perpindahan Panas Total  
(BTU/hr.ft<sup>2</sup>.°F)

$A_o$  = Luas perpindahan panas total

$C_{min}$  = laju kapasitas minimum

Apabila nilai NTU sudah didapat, maka efektivitas penukar panas didapat dengan menggunakan persamaan [2]:

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

$Cr$  = Rasio Laju Kapasitas

Dalam penelitian ini, *pressure drop* sebuah penukar panas dapat dihitung dengan persamaan yang dijelaskan [1] yaitu:

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

$G$  = Mass Flux (lbm/hr.ft<sup>2</sup>)

$gc$  = Percepatan Gravitasi (ft/hr<sup>2</sup>)

$v$  = Volume Spesifik (ft<sup>3</sup>/lbm)

### 3. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode keefktivitasan-NTU untuk memperoleh nilai performa dari HRSG dimana dalam hal ini keefktivitasan dan penurunan tekanan yang terjadi.

Sedangkan untuk mendapat dimensi penukar panas yang ringkas dan melakukan perhitungan secara matematis, penelitian ini menggunakan pemrograman *Python*.

Adapun prosedur penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- Memasukan data dari lapangan
- Mencari sifat air dan gas berdasarkan  $\Delta T$  fluida
- Mencari harga pertukaran panas serta harga keefktivitasan awal
- Mencari paramter lain yang diperlukan

- Memasukan persamaan yang akan digunakan untuk program komputer (*PyCharm IDE*)
- Melakukan proses iterasi secara komputional
- Mendapatkan dimensi *compact heat exchanger* dan nilai properties dari *compact heat exchanger*

### 4. Hasil dan Pembahasan

Pengambilan data pada penelitian ini dilakukan secara langsung, dan data yang diambil pada saat mesin dalam keadaan beban maksimum. Adapun data yang didapat ialah:

- Fluida Panas

$Thi$  = 386 °F

$Tho$  = 192 °F

$\dot{m}h$  = 16.873 lbm/hr

$Ph$  = 37,5 Psig

- Fluida Dingin

$Tci$  = 87 °F

$Tco$  = 155 °F

$\dot{m}c$  = 90.225 lbm/hr

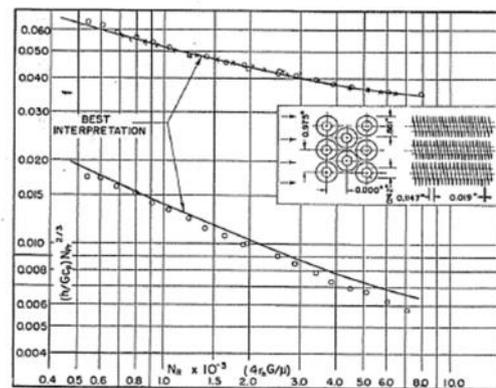
$Pc$  = 1,4 Psig

Hasil dari perhitungan dengan menggunakan properti laju kapasitas kedua fluida, keefktivitasan HRSG yang didapat ialah sebesar 64%.

#### 4.1. Spesifikasi tabung dan Sirip

Spesifikasi tabung dan sirip yang digunakan dalam desain penelitian ini ialah *surface CF-8.72(c)* [1]. Adapun spesifikasi yang digunakan ialah:

Fig. 10-77. Finned circular tubes, surface CF-8.72(c).



Tube outside diameter = 0.42 in.

Fin pitch = 8.72 per in.

Flow passage hydraulic diameter,  $4r_h = 0.01452$  ft

Fin thickness (average)\* = 0.019 in., copper

Free-flow area/frontal area,  $\sigma = 0.494$

Heat transfer area/total volume,  $\alpha = 136$  ft<sup>2</sup>/ft<sup>3</sup>

Fin area/total area = 0.876

\* Fins slightly tapered

Gambar 1. Spesifikasi tabung dan Sirip

#### 4.2. Keefesiensian Sirip

Berdasarkan persamaan keefesiensian dari 1 sirip ialah 0,823 atau 82,3% sehingga efisiensi total dari sirip ialah 0,845 atau 84,5%. Hasil dari

keefisiensi total sirip ini sangat tinggi dimana hal ini memiliki berdampak yang baik pada perpindahan panas yang terjadi pada penukar panas ringkas.

#### 4.3. Keefektivan Penukar Panas Ringkas

Dengan menggunakan persamaan (2) didapat nilai dari NTU sebesar 5,59. Dari NTU ini, maka keefektifitasan dari penukar panas ini dapat ditentukan. Maka dengan menggunakan persamaan (3), harga keefektifitasan penukar panas ringkas didapatkan sebesar 99%. Dimana nilai keefektifitasan penukar panas ringkas lebih besar dibandingkan dengan keefektifitasan penukar panas awalnya.

#### 4.4. Pressure Drop

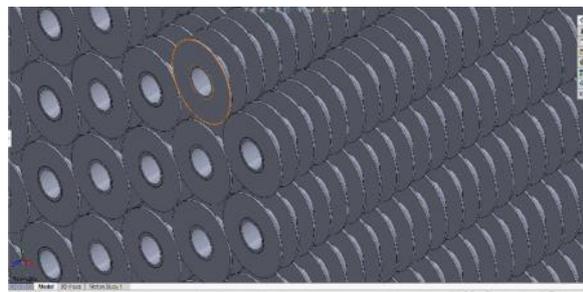
Penukaran panas yang terjadi dengan sifat *cross flow both fluid unmixed*. Maka dari itu persamaan (4) digunakan untuk menentukan besarnya penurunan tekanan yang terjadi. Penurunan tekanan yang terjadi sebesar 0,0413 Psig, penurunan tekanan yang terjadi sangat kecil sehingga tidak berpengaruh terhadap kinerja dari penukar panas.

#### 4.5. Desain Penukar Panas Ringkas

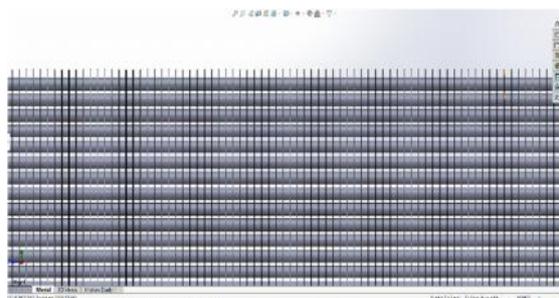
Pada penelitian ini menggunakan perhitungan iterasi untuk mendapatkan desain penukar panas yang paling ringkas. Perhitungan iterasi ini menggunakan pemrograman *python* yang dilakukan berulang kali perhitungan (dikarenakan ditentukan batasan minimal dari satu sisi ialah 1ft sampai 10ft). Adapun dimensi yang didapat dari melakukan perhitungan iterasi ini ialah 1ft x 2ft x 6ft dengan volume sebesar 12ft<sup>3</sup>. Desain dari penukar panas dapat dilihat dari Gambar 2 sampai 4



Gambar 2. Desain Penukar Panas Ringkas



Gambar 3. Desain Sirip dan tabung



Gambar 4. Sisi Samping Pipa dan Sirip

#### 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai analisa redesign penukar panas ringkas pada *Heat Recovery Steam Generator* di PLTGU dapat disimpulkan beberapa hal yaitu:

1. Dimensi yang didapat dari perhitungan iterasi ialah 1ft x 2ft x 6ft dengan volume total sebesar 12ft<sup>3</sup>.
2. Penurunan tekanan yang terjadi sebesar 0,0413 Psig dimana penurunan tekanan yang terjadi sangat kecil.
3. Sedangkan nilai luasan perpindahan panas per volume ( $\beta$ ) ialah 281.167 ft<sup>2</sup>/ft<sup>3</sup> yang dimana sudah memenuhi persyaratan dari ( $\beta > 213,35$  ft<sup>2</sup>/ft<sup>3</sup>).

#### Daftar Pustaka

- [1] W. M. Kays, A. L. London, 1964, *Compact Heat Exchanger*, McGraw Hill, New York.
- [2] F. P. Incropera, D. P. Dewitt, T. L. Bergman, A. S. Lavine, 2007, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer (Sixth Edition)*, John Wiley & Sons, Hoboken.



Dewa Gede Adi Darma Saputra menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana pada Program Studi Teknik Mesin, pada tahun 2020.

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