

# PROSIDING SISTEM 2019

“PERSIAPAN TEKNOLOGI DAN SDM DALAM MENYONGSONG REVOLUSI INDUSTRI 4.0”

ISSN : 2541-6987

Hak Cipta © 2019  
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Jember

Dilarang memproduksi, mendistribusikan bagian dari publikasi ini dalam segala bentuk maupun media tanpa seijin Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik - Universitas Jember

Dipublikasi dan didistribusikan oleh  
**Jurusan Teknik Mesin**  
Fakultas Teknik  
Universitas Jember  
Jalan Kalimantan 37 Kampus Tegal Boto  
Jember 68121  
INDONESIA

Telp. (0331) 484977  
Fax. (0331) 339029  
Website : [www.mesin.teknik.unej.ac.id](http://www.mesin.teknik.unej.ac.id)  
Email : [sistem@unej.ac.id](mailto:sistem@unej.ac.id)

*SEMINAR NASIONAL  
TEKNIK MESIN*

# SISTEM



-  [sistem.teknik.unej.ac.id](http://sistem.teknik.unej.ac.id)
-  [facebook.com/sistem.unej](https://facebook.com/sistem.unej)
-  [@sistemunej](https://twitter.com/sistemunej)
-  [@sistemunej](https://www.instagram.com/sistemunej)

## KATA PENGANTAR

Seminar Nasional Teknik Mesin (SISTEM) adalah acara tahunan yang diselenggarakan oleh Program Studi Teknik Mesin Universitas Jember. Dari hasil seminar diharapkan dapat memberikan dampak secara luas kepada masyarakat, sehingga topik yang konkrit dan terbaru selalu diusung menjadi tema utama seminar. Seminar Nasional Teknik Mesin (SISTEM) kali ini mengusung tema “Persiapan Teknologi Dan SDM Dalam Menyongsong Revolusi Industri 4.0”.

Kualitas penelitian yang baik dalam bidang Teknik Mesin memiliki kontribusi yang besar dalam meningkatkan daya saing dan inovasi industri. Melalui Seminar Nasional Teknik Mesin ini, karya-karya penelitian yang telah terkumpul diharapkan memberikan solusi efektif, efisien, dan ramah lingkungan terhadap masalah-masalah untuk menunjang keberhasilan Revolusi Industri 4.0, sehingga dapat meningkatkan produktivitas dan daya saing bangsa melalui penelitian dan inovasi pada bidang teknologi dan manajemen sumber daya manusia.

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa sebab hanya oleh karena rahmat dan anugerah-Nya maka acara Seminar Nasional Teknik Mesin (SISTEM) dapat terselenggara. Ruang lingkup makalah pada Seminar Nasional Teknik Mesin (SISTEM) dikelompokkan menjadi empat bidang, yaitu: Konversi Energi, Manufaktur, Desain, Metalurgi dan Material. Lebih lanjut, kualitas makalah dijaga dengan baik melalui proses review yang ketat.

Akhir kata kami ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyusunan prosiding SISTEM ini. Terlepas dari segala kekurangan yang ada, kiranya segenap upaya yang telah dilakukan dapat bermanfaat bagi kemajuan, penguasaan ilmu pengetahuan & teknologi di Indonesia dan menjadi pendorong untuk menghasilkan karya-karya penelitian lanjutan yang lebih baik.

Jember, 21 Desember 2019

**Tim Editor**

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>ii</b>
<b>REVIEWER</b>	<b>iv</b>
<b>PANITIA PELAKSANA</b>	<b>v</b>
<b>INTEGRASI BAHAN BERUBAH FASE (<i>PHASE CHANGE MATERIAL</i>) UNTUK SISTEM PASIF PADA BANGUNAN</b>	<b>1</b>
I M Astika <sup>1*</sup> , I N S Winaya <sup>1</sup> , I D G Ary Subagia <sup>1</sup> , I K G Wirawan <sup>1</sup> , I G N Nitya Santhiarsa <sup>1</sup> , I K Suarsana <sup>1</sup> , I G N Priambadi <sup>1</sup> , I G K Dwijana <sup>1</sup>	1
<b>PELAPISAN (<i>ELECTROPLATING</i>) KROM KERAS PADA BAJA St.60 TERHADAP KEKERASAN DAN KETEBALAN LAPISAN</b>	<b>8</b>
K Suarsana <sup>1*</sup> , I M. Astika <sup>1</sup> , D.N.K Putra Negara <sup>1</sup> , Putu Wijaya Sunu <sup>2</sup>	8
<b>RANCANG BANGUN <i>PROBE BOBBIN DIFFERENTIAL</i> UNTUK PEMERIKSNAAN TUBE 1,5 INCHI PADA EDDY CURRENT TESTING</b>	<b>13</b>
Suroso <sup>1*</sup> , Anggi Sania Putri <sup>1</sup> , Tasih Mulyono <sup>1</sup>	13
<b>TEKSTUR PERMUKAAN KARBON AKTIF YANG DIAKTIVASI MENGGUNAKAN ASAM POSPAT DENGAN VARIASI SUHU AKTIVASI</b>	<b>19</b>
Dewa Ngakan Ketut Putra Negara <sup>1*</sup> , Tjocorda Gde Tirta Nindhia <sup>1</sup> , I Made Astika <sup>1</sup> , Cokorda Istri Putri Kusuma Kencanawati <sup>1</sup>	19
<b>ANALISA PERBANDINGAN HASIL UJI UNJUK KERJA MESIN <i>HEAVY DUTY</i> DENGAN BAHAN BAKAR EURO 4 DAN CAMPURAN EURO 4 DENGAN 30% BIODIESEL</b>	<b>24</b>
Mokhtar <sup>1*</sup> , Ade Kurniawan <sup>1</sup>	24
<b>ANALISA PERFORMA DAN DURABILITY THERMOELEKTRIK COOLER TYPE TEC1-12703, TEC1-12705, TEC1-12706, TEC1-12710 DAN THERMOELEKTRIK GENERATOR TYPE SP1848 27145 SA</b>	<b>29</b>
Azamataufiq Budiprasojo <sup>1*</sup> , Fahrur Rosy <sup>1</sup>	29
<b>PENGARUH SISTEM TEKNOLOGI MESIN PENGADUK GULA MERAH BERBASIS <i>CONTROL SYSTEM</i> DENGAN SISTEM PENGADUK MANUAL TERHADAP KAPASTITAS DAN KUALITAS GULA MERAH DI DESA REJOAGUNG KAB. BANYUWANGI</b>	<b>33</b>
Chairul Anam <sup>1*</sup> , Sandryas Alief Kurniasanti <sup>1</sup> dan Dian Ridlo Pamuji <sup>1</sup>	33
<b>PERBANDINGAN BEDA TEKANAN FILTER (<i>DELTA PRESSURE</i>) BAHAN BAKAR B20 DAN B30 SETELAH PENYIMPANAN PADA TEMPERATUR RENDAH</b>	<b>36</b>
Ihwan Haryono <sup>1*</sup> , Hari Setiapraja <sup>1</sup> , Budi Rochmanto <sup>1</sup> , Sigit Tri Atmaja <sup>1</sup>	36
<b>KARAKTERISTIK ALIRAN DUA FASE (UDARA-AIR) MELALUI PIPA <i>SCALLOPED GROOVE HORIZONTAL</i></b>	<b>42</b>
Gufron Saiful Bachri <sup>1*</sup> , Rudy Soenoko <sup>2</sup> , Denny Widhiyanuriyawan <sup>2</sup>	42
<b>KESETIMBANGAN CAIR-CAIR SISTEM TERNER DIETIL KARBONAT + ISOBUTANOL + H<sub>2</sub>O PADA TEMPERATUR 303.15 K PADA TEKANAN ATMOSFER</b>	<b>46</b>
Bagus Rizky Pratama Budiajih <sup>1*</sup> , Arina Ulfa S <sup>1</sup> , Prof.Dr.Ir.I Gede Wibawa M.Eng. <sup>2</sup>	46
<b>ANALISIS EFEKTIFITAS HHO CARBON CLEANING DENGAN METODE PENGOLAHAN CITRA DIGITAL</b>	<b>50</b>
Azamataufiq Budiprasojo <sup>1*</sup> , Abdul Ghofur Maliki <sup>1</sup>	50
<b>PENGARUH PENAMBAHAN FRAKSI MOL KARBON AKTIF PADA CAIRAN JERUK NIPIS TERHADAP RESPON TEGANGAN</b>	<b>56</b>

Muhammad Agung Amiruddin <sup>1*</sup> , I.N.G. Wardana <sup>2</sup> , Yudy Surya Irawan <sup>2</sup>	56
<b>PERANAN VARIASI DIAMETER LUBANG <i>NOZZLE</i> TERHADAP KARAKTERISTIK PEMBAKARAN SPRAY BIODIESEL MINYAK JELANTAH</b>	<b>60</b>
Wigo Ardi Winarko <sup>1*</sup> , M. Asif <sup>1</sup> , Dony Perdana <sup>2</sup>	60
<b>ANALISA KELAYAKAN INVESTASI USAHA PRODUKSI MINYAK KELAPA DI KABUPATEN ACEH SINGKIL</b>	<b>65</b>
Darwin Hendri <sup>1*</sup> , Herdi Susanto <sup>2</sup>	65
<b>PROTOTYPE <i>INFANT INCUBATOR SYSTEM</i>-PEMANFAATAN PANAS LUARAN KOMPRESOR AC <i>SPLIT</i> UNTUK INKUBATOR BAYI TABUNG</b>	<b>71</b>
Yudhy Kurniawan <sup>1*</sup> , Kusnandar <sup>1</sup> , Tofik Hidayat <sup>2</sup> , Rizky Fathurohman <sup>2</sup>	71
<b>PEMBUATAN GRAPHENE OXIDE + POLIMER UNUTK BAJA TAHAN KOROSI</b>	<b>77</b>
Ardy Nur Hidayat <sup>1*</sup> , Dr.Prantasi Harmi Tjahjanti <sup>2</sup>	77
<b>APLIKASI TEKNOLOGI <i>DOWNHOLE WATER LOOP (DWL)</i> UNTUK PRODUKSI MINYAK BERAT</b>	<b>81</b>
Hadziqul Abror <sup>1*</sup> , Eriska Eklezia Dwi Saputri <sup>1</sup> , Amega Yasutra <sup>2</sup>	81
<b>INVESTIGASI GEOMETRI DIFFUSER BULAT-PERSEGI EMPAT PADA TURBIN AIR BANKI BERBASIS CFD</b>	<b>86</b>
Sirojuddin <sup>1*</sup> , Muhammad Sena I. <sup>2</sup>	86
<b>PENGARUH JARAK CELAH UDARA GENERATOR MAGNET PERMANEN FLUKS AKSIAL <i>MULTISTAGE</i> PUTARAN RENDAH</b>	<b>91</b>
Yusuf Ismail Nakhoda <sup>1*</sup> , Choirul Soleh <sup>1</sup> , Eko Yohanes Setyawan <sup>2</sup>	91
<b>PENGARUH PENCAAMPURAN BIODIESEL MINYAK NYAMPLUNG DAN MINYAK KELAPA DENGAN BIOSOLAR TERHADAP DISTRIBUSI TEMPERATUR NYALA API</b>	<b>99</b>
Tri Vicca Kusumadewi <sup>1*</sup>	99

## REVIEWER

1. Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, MM.
2. Dr. Ir. Nasrul Ilminnafik, ST., MT.
3. Dr., Ir. R. Koekoeh K.W, ST., M.Eng.
4. Dr., Ir. Agus Triono, ST., MT.
5. Boy Arief Fachri, ST., MT., Ph.D.
6. Dr., Ir. Gaguk Djatisukamto, ST., MT.
7. Dr. Mochamad Asrofi, S.T.
8. Ir. Mahros Darsin, S.T., M.Sc., Ph.D.
9. Dr., Ir. Salahuddin Junus, S.T. M.T.

## PANITIA PELAKSANA

<b>Pelindung</b>	Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember
<b>Penanggungjawab</b>	Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember
<b>Ketua Panitia</b>	Dr. Salahuddin Junus, S.T., M.T.
<b>Sekretaris</b>	Danang Yudistiro, S.T., M.T.
<b>Anggota</b>	Wellayaturremadhona, S.Si., M.Sc. Rahma Rei Sakura, S.T., M.T. Istiqomah Rahmawati, S.Si., M.Si. Eriska Eklezia Dwi Saputri, S.T., M.T. Tri Vicca Kusumadewi, S.T., M.Sc.

**INTEGRASI BAHAN BERUBAH FASE (*PHASE CHANGE MATERIAL*) UNTUK SISTEM PASIF PADA BANGUNAN**

I M Astika<sup>1\*</sup>, I N S Winaya<sup>1</sup>, I D G Ary Subagia<sup>1</sup>, I K G Wirawan<sup>1</sup>, I G N Nitya Santhiarsa<sup>1</sup>, I K Suarsana<sup>1</sup>, I G N Priambadi<sup>1</sup>, I G K Dwijana<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, Badung, Bali 80361, Indonesia

Email: \*imdastika@yahoo.com

**ABSTRAK**

Sektor bangunan merupakan pemakai energi terbesar hampir di seluruh dunia. Penggunaan energi tersebut adalah terutama untuk pemanasan dan pendinginan ruangan. Saat ini, sumber energi yang digunakan berasal dari bahan bakar fosil seperti minyak, gas dan batubara. Dengan meningkatnya penggunaan sumber energi yang berasal dari fosil menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan dan berkurangnya pasokan energi dari bahan bakar fosil tersebut. Salah satu alternatif penghematan energi khususnya pada bangunan adalah memanfaatkan material berubah fase (*Phase Change Material*). PCM dapat diaplikasikan pada konstruksi bangunan dan berfungsi sebagai sistem pasif untuk meningkatkan kenyamanan dan menurunkan konsumsi energi. Secara umum dapat disimpulkan bahwa bahan PCM dapat diintegrasikan pada berbagai konstruksi bangunan seperti dinding, langit-langit/plafon, jendela, dan atap. Dengan aplikasi PCM pada bangunan akan dapat mengurangi pemakaian energi konvensional dan dapat meningkatkan kenyamanan dalam ruangan.

Kata kunci: Bahan berubah fase, bangunan, kenyamanan, penghematan energi

**PENDAHULUAN**

Penggunaan energi yang bersumber dari bahan bakar fosil mengakibatkan terjadinya pencemaran terhadap lingkungan dan lebih jauh lagi menyebabkan terjadinya perubahan iklim dan mengurangi persediaan bahan bakar fosil lebih cepat. Efisiensi energi khususnya pada bangunan adalah satu langkah untuk mengefektifkan penggunaan energi secara global. Sektor bangunan adalah konsumen energi utama dan menyumbang sekitar 40% dari total penggunaan energi. Sebagian besar penggunaan energi ini secara langsung terkait dengan pemanasan dan pendinginan bangunan [1].

Sebuah alternatif untuk memenuhi peningkatan energi dan mengurangi dampak negatif lingkungan adalah dengan mengurangi penggunaan energi fosil serta meningkatkan penggunaan teknologi energi terbarukan yang ramah lingkungan seperti tenaga air, energi angin dan energi matahari atau teknologi baru seperti energi samudra dan sistem geotermal. Membangun integrasi dari beberapa teknologi ini mungkin juga bermanfaat, misalnya membangun photovoltaics terintegrasi (BIPV). Beberapa teknologi baru muncul untuk membantu mewujudkan tujuan mengurangi penggunaan energi pada gedung dan kendaraan. Beberapa dari teknologi ini terkait

dengan bahan isolasi panas yang diterapkan pada bangunan ataupun kendaraan.

Salah satu teknologi yang menjanjikan adalah penggunaan bahan berubah fase (*phase change materials/PCM*) yang telah mendapat perhatian besar selama beberapa dekade terakhir. PCM menggunakan prinsip *latent heat thermal storage* (LHTS) untuk menyerap energi dalam jumlah besar ketika ada surplus dan melepaskannya ketika ada defisit. Penggunaan yang tepat dari PCM akan dapat mengurangi penggunaan energi konvensional, dan juga memungkinkan untuk dimensi dari peralatan teknis untuk pemanasan dan pendinginan yang lebih kecil. Manfaat tambahan adalah kemampuan untuk mempertahankan temperatur dalam ruangan yang lebih nyaman karena fluktuasi suhu yang lebih kecil. Selama beberapa tahun terakhir telah ada beberapa tinjauan tentang penggunaan PCM di gedung-gedung untuk sistem energi termal dan kenyamanan dalam ruangan. Minat untuk mengembangkan dan membangun aplikasi serta area yang mungkin dari penggunaan bahan PCM terus meningkat di seluruh dunia. Beberapa bidang yang telah dipelajari sampai saat ini termasuk sistem ventilasi, pemanasan pasif dan sistem pendingin, aplikasi pada lantai, atap dan papan dinding. PCM juga dapat dimasukkan langsung ke

dalam bahan bangunan seperti beton dan dinding sehingga memungkinkan untuk diterapkan dalam konstruksi dengan sedikit perubahan pada desain aslinya.

### MATERIAL BERUBAH FASE

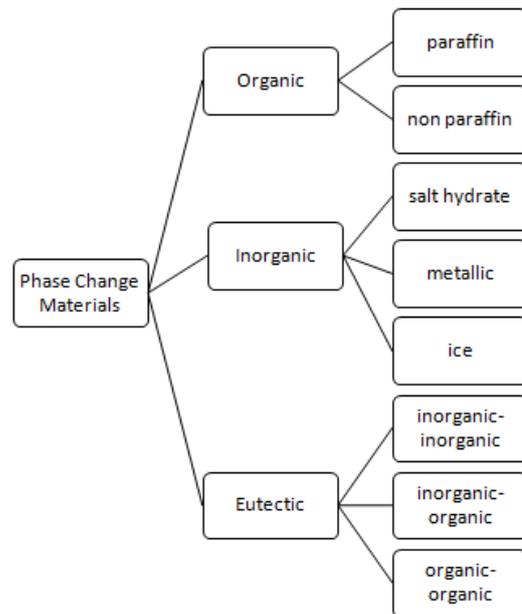
Bahan-bahan berubah fasa (PCM) memanfaatkan panas laten dari perubahan fasa untuk mengontrol suhu dalam kisaran tertentu. Ketika suhu naik di atas titik tertentu, ikatan kimia dalam material akan mulai putus dan material akan menyerap panas dalam proses endotermik di mana material berubah dari padat menjadi cair. Saat suhu turun, bahan akan mengeluarkan energi dan kembali ke keadaan padat. Energi yang digunakan untuk mengubah fase material, dimana perubahan fase terjadi di sekitar suhu kenyamanan yang diinginkan, akan menyebabkan suhu dalam ruangan menjadi lebih stabil dan nyaman, serta mengurangi beban puncak pendinginan dan beban pemanasan [2]. Prinsip dasar dari material berubah fase ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Prinsip dasar material berubah fase

Oleh karena itu, bahan-bahan berubah fasa dapat memberikan peningkatan kapasitas penyimpanan panas, terutama pada bangunan dengan masa termal rendah. Kisaran suhu bervariasi tergantung pada bahan yang digunakan sebagai bahan berubah fasa.

Berdasarkan komposisi kimianya, bahan berubah fase dapat dibagi menjadi tiga yaitu organik, anorganik, dan eutektik. Kategori ini selanjutnya dibagi berdasarkan berbagai komponen PCM seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Jenis material berubah fase

### Integrasi Pcm Pada Konstruksi Bangunan

PCM dapat digunakan sebagai sumber panas dan dingin alami atau buatan. Sistem penyimpanan panas atau dingin diperlukan untuk menyesuaikan ketersediaan dan permintaan. Secara umum, ada tiga cara berbeda dalam menggunakan PCM untuk pemanasan dan pendinginan pada bangunan yaitu: PCM di dinding bangunan; PCM dalam komponen bangunan selain dinding yaitu di langit-langit dan lantai; dan PCM untuk penyimpanan panas atau dingin yang terpisah [3].

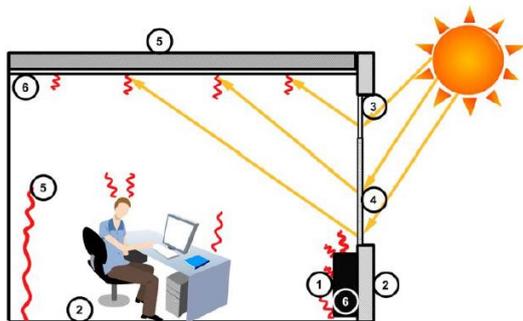
Dua yang pertama adalah sistem pasif, di mana panas atau dingin yang disimpan secara otomatis dilepaskan ketika suhu dalam atau luar ruangan naik atau turun di luar titik leleh. Sedangkan yang ketiga adalah sistem aktif, di mana panas atau dingin yang disimpan terpisah secara termal dan dibatasi oleh isolasi. Karena itu, panas atau dingin hanya digunakan sesuai kebutuhan dan tidak terjadi secara otomatis. Pemilihan bahan PCM disesuaikan dengan keperluan untuk apa aplikasi tersebut dibuat. Berkaitan dengan kenyamanan, maka PCM yang memiliki transisi fase dekat suhu kenyamanan manusia yaitu berkisar 20–28 °C yang dapat digunakan. Beberapa PCM komersial juga telah dikembangkan [3,4,6]. PCM komersial yang sesuai untuk bangunan disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Perubahan fase dan panas dari PCM komersial

PCM	Jenis produk	Temperatur cair (°C)	Panas peleburan (kJ/kg)
Astorstar HA17	Paraffin dan lilin	21,7 – 22,8	-
Astorstar HA18	Paraffin dan lilin	27,2 – 28,3	-
RT 26	Paraffin	24 – 26	232
RT 27	Paraffin	28	206
Climsel C 23	Garam hidrat	23	148
Climsel C 24	Garam hidrat	24	108
STL 27	Garam hidrat	27	207
S27	Garam hidrat	29	188
-	Campuran dari 2 garam hidrat	22 – 25	-
E 23	Campuran dari larutan eutektik	23	155

Penyimpanan energi panas pada dinding, langit-langit dan lantai bangunan mungkin dilakukan dengan metode kapsulasi atau menanamkan PCM yang sesuai dalam bahan tersebut. Metode ini baik digunakan dalam menangkap energi matahari secara langsung atau energi panas melalui konveksi alami. Meningkatnya kapasitas penyimpanan panas bangunan dapat meningkatkan kenyamanan manusia dengan menurunkan frekuensi perubahan suhu udara internal sehingga suhu udara dalam ruangan lebih dekat ke suhu yang diinginkan untuk jangka waktu yang lebih lama [4]. Beberapa area penggunaan PCM pada bangunan diilustrasikan pada Gambar 3 [8]:

1. Sumber panas laten untuk pemanasan ruangan.
2. PCM dalam plesteran dan sistem gabungan dengan kapasitas penyimpanan panas yang tinggi.
3. PCM dalam isolasi transparan.
4. PCM dalam sistem jendela.
5. PCM dalam gipsium dan cat.
6. PCM untuk menjaga variasi suhu dalam sistem udara ruangan.



Gambar 3. Area aplikasi untuk PCM pada bangunan

Di antara semua penerapan PCM untuk bangunan, PCM terintegrasi pada dinding paling sering dipelajari karena daerah pertukaran panasnya yang relatif lebih efektif dan implementasi yang lebih nyaman. Secara umum, ada dua cara untuk mengintegrasikan bahan perubahan fase pada dinding bangunan yaitu perendaman (*immersion*) dan pelapisan. Metode perendaman adalah untuk mengintegrasikan bahan perubahan fase dengan bahan konstruksi bangunan, seperti beton, batu bata dan plesteran. Biasanya ada tiga metode untuk mengintegrasikan PCM dengan bahan konstruksi bangunan yaitu pencelupan langsung, PCM dalam bentuk mikro kapsul dan makro kapsul [8].

Solusi lainnya adalah melapiskan satu atau beberapa lapis PCM ke dinding. Dalam hal ini, PCM tidak merupakan bahan dinding, tetapi terintegrasi dengan lapisan di luar dinding. Sebagai PCM hanya terintegrasi dengan papan dinding bukan dinding utama, itu dapat dianggap sebagai bagian dari pekerjaan dekorasi ruangan setelah pembangunan. Lapisan PCM, seperti PCM pada papan gipsum terintegrasi dan panel komposit terintegrasi PCM, memungkinkan produksi massal papan-dinding tertentu secara terpisah oleh perusahaan-perusahaan yang khusus, dengan demikian akan dapat meningkatkan efisiensi dan mengurangi biaya secara keseluruhan [5].

Langit-langit adalah bagian penting dari atap, yang digunakan untuk pemanasan dan mendinginkan bangunan. Sistem PCM pada langit-langit lebih banyak dimanfaatkan pada bangunan karena instalasi dan implementasinya lebih mudah. Secara umum, ada tiga jenis sistem langit-langit PCM yaitu: sistem langit-langit yang mengandung bubur PCM, sistem langit-langit PCM yang terintegrasi, dan sistem langit-langit/AC PCM terpisah.

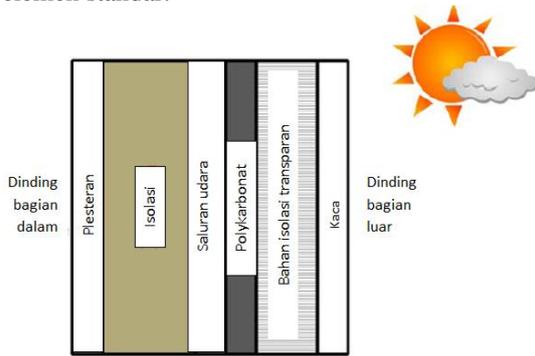
Pemanfaatan lantai untuk pemanasan dan pendinginan juga merupakan bagian penting dari sebuah bangunan. Sistem pemanas listrik di bawah lantai adalah salah satu yang paling umum digunakan untuk menyediakan panas. Di banyak negara, tarif listrik berbeda antara jam puncak (biasanya siang hari dengan tarif tinggi) dan jam normal (biasanya di malam hari dengan tarif rendah).

Perkembangan utama di bidang ini adalah mengembangkan PCM yang akan penyimpanan panas di siang hari dan melepaskan panas ke lingkungan di waktu malam [7]. Penggunaan siklus perubahan fasa padat-cair-uap secara lengkap akan semakin meningkatkan densitas penyimpanan. Sistem seperti itu secara teknis layak, tetapi sedikit lebih rumit daripada siklus padat-cair-padat (siklus pasif) [7].

#### Aplikasi PCM pada dinding

Dinding PCM mampu menangkap sebagian besar radiasi matahari pada dinding atau atap gedung. Karena masa termal yang tinggi dari dinding PCM, aplikasi ini mampu meminimalkan efek fluktuasi suhu di bagian dalam bangunan. Bahan ini bisa sangat efektif dalam mengurangi beban puncak pendinginan [6,9]. Dinding terdiri dari enam komponen utama yaitu: kaca, bahan isolasi transparan, polikarbonat, ventilasi udara, isolasi dan plesteran (Gambar 4). Radiasi gelombang pendek melewati kaca dengan bahan isolasi transparan, yang mencegah perpindahan panas konveksi dan radiasi. Bahan berubah fase dalam wadah plastik transparan terbuat dari polikarbonat, menyerap dan menyimpan sebagian besar energi sebagai panas laten. Udara dipanaskan di saluran udara dan

menuju ruangan. Isolasi dan plesteran adalah elemen standar.



Gambar 4. Elemen dinding PCM

### PCM Terintegrasi dalam Kayu Ringan - Beton

Kayu ringan-beton adalah campuran semen, air, aditif, serpihan kayu atau serbuk gergaji, yang tidak boleh melebihi 15% berat. Campuran ini dapat diterapkan untuk membangun konstruksi interior dan dinding luar. Penggabungan PCM memiliki dua keuntungan yaitu: untuk meningkatkan kapasitas penyimpanan panas dan untuk mendapatkan elemen dinding yang lebih ringan dan tipis dengan peningkatan kinerja termal [6]. Hal itu menunjukkan bahwa PCM dapat dikombinasikan dengan kayu-ringan-beton dan sifat-sifat mekaniknya tidak berubah secara signifikan. Para penulis melaporkan keuntungan sebagai berikut [10]:

- Konduktivitas termal:  $\lambda$  antara 0,15 dan 0,75 W/m K;
- Isolasi terhadap kebisingan;
- Sifat mekanis: kepadatan antara 600 dan 1700 kg/m<sup>3</sup>;
- Kapasitas panas cp: 0,39-0,48 kJ/kg K pada  $\rho = 1300$  kg/m<sup>3</sup>;
- Kepadatan: sekitar 60-70% dari nilai beton murni (0,67 kJ/kg K pada  $\rho = 2400$  kg/m<sup>3</sup>).

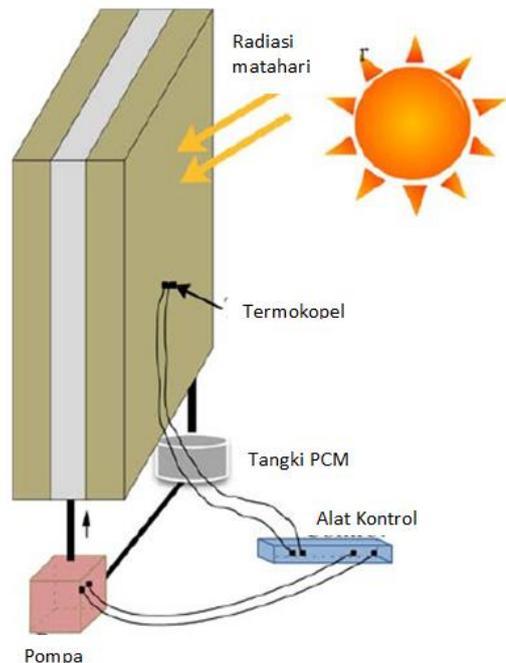
### PCM dalam jendela

Sebagian besar studi dan aplikasi telah difokuskan pada bagian bangunan yang "tidak tembus cahaya", seperti dinding, langit-langit, dan lantai. Namun, harus diperhatikan satu fakta bahwa bagian bangunan yang transparan, yaitu jendela, memiliki tahanan panas yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan bagian lain dari bangunan.

Ismail dkk [11] mengusulkan konsep yang berbeda untuk jendela menggunakan model tirai PCM, seperti yang ditunjukkan pada gambar 8. Jendela dirancang dua lapis dengan celah udara/ventilasi diantaranya. Seluruh sisi disegel dan pada bagian bawah di buat dua lubang yang dihubungkan dengan tabung plastik ke pompa dan tangki PCM. Pompa dihubungkan ke tangki berisi PCM, yang dalam bentuk cair. Operasi pompa dikendalikan oleh sensor suhu. Saat perbedaan

suhu mencapai nilai yang telah ditentukan pompa dioperasikan dan PCM cair dipompa keluar tangki untuk mengisi celah antara panel kaca. Karena suhu yang lebih rendah di luar permukaan, PCM mulai membeku, membentuk lapisan padat yang ketebalannya meningkat seiring dengan waktu dan mencegah suhu dibagian dalam ruangan menurun. Proses ini berlanjut hingga PCM berubah menjadi padat. Sistem jendela yang dirancang dengan baik akan memastikan suhu di luar ruangan akan mulai meningkat sebelum pembekuan lengkap dari PCM tertutup [6,11].

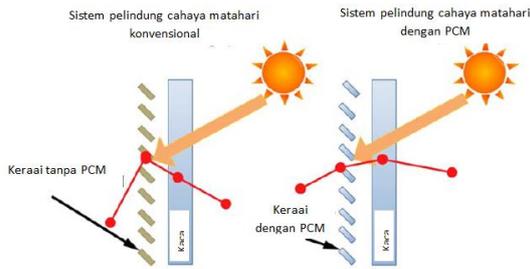
Konsep sistem jendela dengan PCM ini layak dan efektif secara termal. PCM berfungsi untuk menyaring radiasi panas dan mengurangi kerugian panas karena sebagian besar energi yang ditransfer akan diserap selama perubahan fase PCM. Jendela kaca ganda yang diisi dengan PCM lebih efektif secara termal daripada jendela yang sama diisi dengan udara.



Gambar 5. PCM dalam jendela kaca

### Pelindung cahaya matahari / kerrai

PCM yang digunakan dalam sistem pelindung cahaya matahari dengan PCM adalah garam terhidrasi  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Sistem ini sangat cocok untuk digunakan di bawah iklim musim panas, terutama bagi daerah dengan fluktuasi suhu siang hari dan malam hari yang signifikan [12]. Pada gambar 6 disajikan sistem pelindung cahaya matahari konvensional dan dengan PCM.

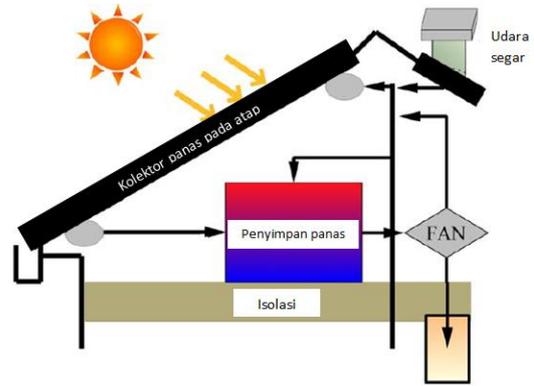


Gambar 6. Skema sistem pelindung cahaya matahari dengan dan tanpa PCM

Pada waktu siang hari dengan suhu tinggi (dibandingkan dengan nilai kenyamanan termal), kerai terintegrasi dengan PCM diputar untuk terkena radiasi matahari sehingga kelebihan energi matahari disimpan di PCM, mengurangi fluktuasi suhu di dalam ruangan. Pada waktu malam hari dengan suhu yang relatif rendah (dibandingkan dengan nilai kenyamanan), kerai terintegrasi dengan PCM diputar mengarah ke ruangan sehingga energi yang tersimpan dilepaskan kembali ke ruangan, menghindari pengurangan suhu yang berlebihan dalam ruangan di bawah nilai kenyamanan termal.

#### PCM terpadu dalam atap

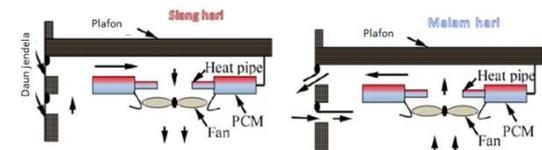
Sistem pemanas/penyimpanan udara panas yang terintegrasi dengan atap menggunakan lembaran atap besi bergelombang sebagai kolektor surya untuk memanaskan udara. Unit penyimpanan panas PCM digunakan untuk menyimpan panas pada siang hari agar panas dapat diberikan pada malam hari atau ketika tidak ada sinar matahari. Sistem beroperasi dalam tiga mode. Selama sinar matahari dan ketika pemanasan diperlukan, udara dilewatkan melalui kolektor dan kemudian masuk ke rumah. Saat pemanasan tidak diperlukan udara dipompa ke fasilitas penyimpanan termal, melelehkan PCM, mengisinya untuk digunakan di masa mendatang. Kapan sinar matahari tidak tersedia, udara ruangan dilewatkan melalui fasilitas penyimpanan, dipanaskan dan kemudian dipaksa masuk ke rumah. Ketika fasilitas penyimpanan dihentikan, maka bisa digunakan pemanas gas tambahan untuk memanaskan rumah. Jumlah udara segar yang memadai diperlukan ketika sistem pemanas surya menyalurkan udara panas ke rumah seperti yang ditunjukkan gambar 7 [9].



Gambar 7. Skema dari sistem pemanas matahari

#### Langit-langit/Plafon

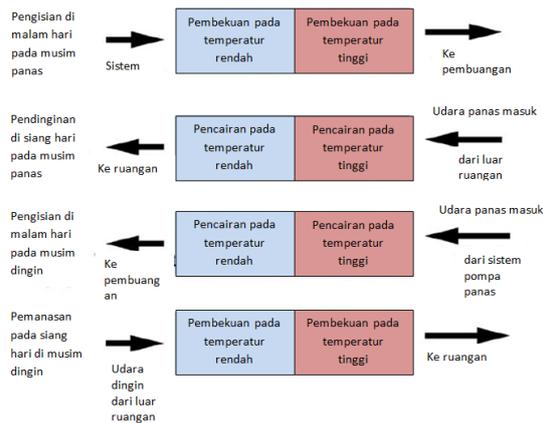
Model penggunaan PCM pada langit-langit diselidiki di University of Nottingham (2002). Ini adalah sebuah sistem pengganti AC oleh sistem baru yang merupakan sistem pendinginan pada malam hari. Modul yang diusulkan seperti ditunjukkan pada gambar 8, dipasang di langit-langit dengan kipas untuk membuang udara di atas ujung pipa panas yang terbuka. Ujung lain dari pipa panas adalah penyimpanan PCM. Pada siang hari, udara hangat yang dihasilkan di ruangan didinginkan oleh PCM yaitu panas dipindahkan ke PCM. Pada malam hari, kipas dibalik dan daun jendela dibuka sehingga udara dingin dari luar melewati pipa dan mengekstraksi panas dari PCM. Siklus ini kemudian diulang pada hari berikutnya [6].



Gambar 8. Desain sistem seperti yang diusulkan oleh University of Nottingham

#### PCM Terpadu dalam Sistem Pemanas dan Pendingin

Pusat Energi Terpadu Berkelanjutan di University of South Australia (2000) mulai bekerja dengan PCM pada pertengahan tahun 1990 dengan pengembangan unit penyimpanan yang dapat digunakan untuk pemanasan dan pendinginan. Pengisian pada waktu malam dan proses pemanfaatan pada siang hari. Dua PCM yang berbeda di integrasikan ke dalam sistem. Udara dipaksa melalui sistem tersebut dan mengalami pemanasan atau proses pendinginan dua tahap seperti yang ditunjukkan pada gambar 9 [9].



Gambar 9. Proses pengisian pada waktu malam dan proses pemanfaatan pada siang hari

Titik leleh/beku dari material pertama berada di bawah suhu nyaman, sementara material kedua memiliki titik leleh/beku di atas suhu nyaman. Selama musim dingin, aliran udara disesuaikan sehingga sistem menyimpan panas di malam hari (oleh kedua bahan tersebut mencair) dan melepaskan panas pada suhu di atas kondisi kenyamanan (dengan pembekuan) pada siang hari. Selama musim panas, arah aliran udara terbalik dan sistem menyimpan energi dingin di malam hari dan melepaskan udara dingin di bawah suhu nyaman pada siang hari [23].

## KESIMPULAN

Penggabungan PCM ke dalam elemen bangunan memberikan keuntungan dimana sistem penyimpanan energi (TES) akan dapat menghemat penggunaan energi pada bangunan tersebut. Pengembangan gedung dengan penyimpanan energi adalah solusi untuk konservasi energi dan juga untuk meningkatkan kualitas lingkungan dimana orang bekerja dan hidup. Dalam hal kenyamanan, diperkirakan bahwa bangunan yang menggunakan bahan konstruksi PCM akan memiliki suhu radiasi rata-rata yang lebih rendah dan stabilitas termal lebih baik. Ruang dalam bangunan tersebut tidak akan mengalami kelebihan panas (*over heating*) dan fluktuasi suhu yang lebih sedikit.

Penggunaan PCM sebagai penyimpan energi panas (*Thermal Energy Storage*) pada suatu bangunan/gedung tergantung pada jenis dari PCM, suhu leleh, persentase PCM yang dicampurkan ke dalam bahan bangunan konvensional, iklim, desain dan orientasi pembangunan gedung. Optimalisasi berbagai parameter tersebut sangat penting untuk memilih dan menentukan jenis PCM yang akan diaplikasikan pada bahan bangunan.

## DAFTAR PUSTAKA

[1] Petroleum, B., 2014. Statistical Review of World Energy 2014. *BP Statistical Review of World Energy*, BP plc, London, UK.

[2] Memon SA. Phase change materials integrated in building walls: a state of the art review. *Renew Sustain Energy Rev* 2014;31:870–906.

[3] Ravikumar M., Srinivasan Dr.Pss., *Phase change material as a thermal energy storage material for cooling of building*, *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 2005-2008, 4(6), p. 503-512, Available at: <http://www.jatit.org/volumes/research-papers/Vol4No6/6Vol4No6.pdf>, (diakses tanggal 10/9/2019).

[4] Ravikumar M., Srinivasan Dr.Pss, *Natural cooling of building using phase change material*, *International Journal of Engineering and Technology*, 2008, 5(1), p. 1-10, Available at: <http://ijet.feic.org/journals/J-2008-V1001.pdf>, (diakses tanggal 10/9/2019).

[5] Zalba B., Marin J.M., Cabeza L.F., Mehling H., *Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications*, *Applied Thermal Engineering* 23, 2003, p.251–283.

[6] Velraj R., Pasupathy A., *Phase change material based thermal storage for energy conservation in building architecture*, Available at: <http://celsius.co.kr/phase-change-materials/download/energy/PCM-based-thermal-storage-for-energy-conservation-in-building-architecture.pdf>, (diakses tanggal 10/9/2019).

[7] Nielsen K., *Thermal Energy Storage A State-of-the-Art- A report within the research program Smart Energy-Efficient Buildings at NTNU and SINTEF 2002-2006*, Available at: <http://www.scribd.com/doc/23310231/Storage-State-of-the-art>, 2003, (diakses tanggal 10/9/2019).

[8] Sharma A., Tyagi V.V., Chen C.R., Buddhi D., *Review on thermal energy storage with phase change materials and applications*, *Renewable and Sustainable Energy Reviewa*,2009, 13, p. 318-345.

[9] Sunliang C., *State of the art thermal energy storage solutions for high performance buildings*, Master`s Thesis, university of Jyvaskyla, Department of physics, Master`s Degree Programme in Renewable Energy, 2010.

[10] Mehling H., Krippner R., Hauer A., *Research project on PCM in wood-lightweightconcrete*, IEA, ECES IA Annex 17, Advanced Thermal Energy Storage through Phase Change Materials and Chemical Reactions - Feasibility Studies and Demonstration Projects. 2nd Workshop, Ljubljana, 3-5 April, Slovenia, 2002.

[11] Ismail K.A.R., Henriquez J. R., Thermally effective windows with moving phase change material curtains, *Applied Thermal*

Engineering, 2001, 21, p. 1909-1923. Mehling H., Strategic project “Innovative PCM-Technology” Results and future perspectives, 8th Expert Meeting and Workshop, Kizkalesi, Turkey, 2005, Available

at: <http://www.fskab.com/Annex17/Workshops/EM8%20Kizkalesi/Presentations/Innovative%20PCM-Technology.pdf>, (diakses tanggal 10/9/2019).

## PELAPISAN (*ELECTROPLATING*) KROM KERAS PADA BAJA St.60 TERHADAP KEKERASAN DAN KETEBALAN LAPISAN

K Suarsana<sup>1\*</sup>, I M. Astika<sup>1</sup>, D.N.K Putra Negara<sup>1</sup>, Putu Wijaya Sunu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali.

<sup>2</sup>Staf Pengajar Politeknik Negeri, Kampus Bukit Jimbaran, Bali

Email: \*ktsuarsana@yahoo.com

### ABSTRAK

Elektroplating merupakan salah satu teknik pelapisan logam dengan suatu logam pelapis. Elektroplating krom keras adalah melapisi logam induk dengan logam pelapis krom sehingga didapatkan permukaan logam lebih keras dibandingkan sebelum dilapisi. Setelah mengalami proses pelapisan maka akan terbentuk ketebalan lapisan dan kekerasan tertentu pada permukaan suatu material logam yang dilapisi. Metode penelitian pelapisan yang dilakukan dengan dua variabel yang terdiri dari arus listrik dan waktu lama penahanan, dimana arus listrik terdiri dari tiga taraf yaitu : 40, 50 dan 60 ampere dan lama penahanan terdiri dari tiga taraf yaitu : 30, 45 dan 60 menit. Data yang didapat dari kombinasi penelitian baik kekerasan dan ketebalan masing-masing eksperimen mendapatkan 27 data penelitian. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa waktu penahanan dan arus listrik yang digunakan pada proses elektroplating krom keras sangat mempengaruhi hasil ketebalan lapisan dan kekerasan. Dari hasil pengolahan data pada arus listrik 60 ampere dengan waktu penahanan 60 menit didapatkan lapisan yang paling tebal sebesar 40,35  $\mu\text{m}$  dan kekerasan yang paling keras adalah sebesar 416,16  $\text{kg/mm}^2$ .

Kata kunci: Waktu Penahanan, Arus listrik, Kekerasan, Ketebalan lapisan.

### PENDAHULUAN

Penggunaan material dari logam memerlukan perlakuan yang khusus, karena beberapa logam dalam penggunaannya memerlukan sifat mekanik tertentu. Sifat mekanik yang paling banyak diharapkan adalah logam yang dipergunakan di bidang industri yaitu kemampuannya untuk tahan aus (Abrasion resistance), dan ketahanan korosi (Corrosion resistance) yang mana logam mempunyai reaksi yang sangat aktif terhadap perubahan temperatur dan cuaca, sehingga kemungkinan suatu bahan logam terkena korosi sangat besar [1]. Salah satu cara memperbaiki kelemahannya akibat korosi dilakukan cara dengan memperkeras permukaan logam melalui proses pelapisan krom keras [2]. Elektroplating krom keras adalah merupakan teknik pelapisan suatu logam yaitu melapisi logam induk dengan logam pelapis (krom) sehingga didapatkan permukaan logam yang dilapisi lebih keras dibandingkan sebelum dilapisi. Setelah mengalami proses pelapisan maka akan terbentuk lapisan dengan ketebalan dan kekerasan tertentu pada permukaan baja yang dilapisi [3]. Sifat khas krom yang sangat tahan karat maka pelapisan krom mempunyai kelebihan tersendiri bila dibandingkan dengan pelapisan lainnya. Selain sifat dekoratif

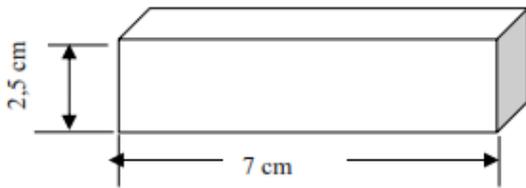
dari pelapisan krom, keuntungan lain dari pelapisan krom adalah dapat dicapainya hasil pelapisan yang keras [4]. Penelitian yang telah dilakukannya, menyatakan bahwa ketebalan lapisan akan semakin meningkat seiring dengan naiknya kuat arus dan bertambahnya titik distribusi arus, hasil kekerasan permukaan berdasarkan hasil uji kekerasan Vickers akan semakin meningkat dengan naiknya kuat arus dan bertambahnya titik distribusi arus [5]. Tujuan penelitian yang dilakukan adalah untuk mengetahui perubahan sifat mekanik kekerasan dan hasil pelapisan pada baja St. 60 dengan proses *electroplating* krom keras.

Dari prinsip dasar elektroplating maka dapat dilakukan pelapisan logam krom keras pada baja St 60. Dengan adanya perubahan arus dan waktu pelapisan pada proses elektroplating maka nantinya akan diketahui ketebalan lapisan serta diharapkan memperoleh ketebalan yang dapat memberikan masukan untuk meningkatkan kualitas.

### METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini bahan-bahan yang digunakan adalah : Baja St 60 dimana baja dengan kandungan karbon sampai 0,4 % dan memiliki

kekuatan tarik  $60 \text{ kg/mm}^2$ , dalam penelitian ini dipakai sebagai spesimen yang dilapis krom keras. Luas permukaan spesimen yang dilapis adalah  $54 \text{ cm}^2$  dengan bentuk persegi panjang dan tebal  $1 \text{ cm}$ .



Gambar 1. Spesimen Uji

Larutan yang akan digunakan adalah larutan krom keras (*Hard Chromium plating solution*) :

Chromic acid ( $\text{CrO}_3$ )	300 g/l .
Mach I Maintenance	90 cc/l
Mach I .Initial	40cc/l
Temperatur	55 s/d $65^\circ\text{C}$
PH	< 1

Sebelum pelapisan dilakukan pembersihan dengan larutan asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) dan larutan HCl [3].

#### Alat Penelitian

*Rectifier* atau *power supply* adalah suatu alat yang dapat mengubah tegangan listrik dari 220 volt menjadi yang lebih rendah sesuai dengan yang diinginkan, atau alat ini juga disebut dengan *trafo step down*. Tegangan yang keluar dari *trafo* masih dalam keadaan bolak-balik (AC), sehingga untuk merubah dari AC ke DC (arus searah) maka diperlukan *kuprok* sebagai penyearah dan *kapasitor elektrolit* sebagai perata dari tegangan *output*. Pada *rectifier* juga dipasang sebuah instrumen volt meter yang dipasang secara paralel dan sebuah amperemeter yang dipasang secara seri. Rectifier secara lengkap seperti ditunjukkan dalam gambar dibawah ini [6].



Gambar 2. Rectifier

Bak plating diperlukan untuk menampung larutan elektrolit larutan pencuci dan air pembilas. Bahan bak tergantung dari jenis dan kondisi larutan yang ditampung atau dengan perkataan lain bahan bak hendaknya tahan terhadap korosi yang ditimbulkan oleh larutan, tahan terhadap suhu larutan dan tidak mencemari larutan yang ditampungnya.

Selain memperhatikan bahwa bak, juga perlu diperhatikan konstruksi yang dikaitkan dengan bentuk dan ukuran kerja yang akan dilapis [6].



Gambar 3. Bak Plating

Heater atau pemanas ini adalah alat untuk memanaskan larutan untuk mendapat akan kondisi operasi diisyaratkan oleh proses elektroplating. Termometer adalah alat ukur temperatur sehingga suhu/temperatur bisa diketahui. Termostat adalah alat untuk menjaga suhu tetap konstan. Agitator adalah alat yang menghasilkan gelembung-gelembun udara sebagai pergerakan dari larutan untuk mendapatkan oksigen.

#### Mesin Uji Kekerasan

Pengujian dilakukan dengan menekan indentor pada material uji dan hasil pengukuran dinyatakan sebagai kekerasan. Dalam hal ini indentor yang dipakai berbentuk pyramid dengan dasar bujur sangkar dari bahan intan. Sudut puncak pyramid adalah  $1363^\circ$ [7].



Gambar 4. Mesin Uji Kekearaan

- Jangka Sorong, dipergunakan sebagai alat untuk mengukur dimensi dari spesimen yang diuji.
- Stop Watch, untuk menghitung waktu pencelupan. Alat timbang elektronik, untuk mengukur berat spesimen sebelum dan sesudah plating.

#### Proses Pelapisan

1. Panaskan larutan plating pada temperatur  $60^\circ \text{C}$
2. Hubungkan ke sumber arus listrik ( rectifier ), spesimen ke kutub negatif, sedangkan pelapis/anoda ke kutub positif.
3. Setelah semuanya siap stop kontak dihidupkan dengan tegangan listrik ( voltage ) sebesar 6 volt

- Perlakukan perubahan arus listrik yang digunakan sebesar 40, 50, 60 ampere.
- Lama proses pelapisan 30, 45, dan 60 menit.

#### Uji kekerasan permukaan specimen

- Hidupkan lampu untuk memberikan cahaya penerangan pada mikroskop optic
- Gosok /bersihkan benda uji dengan pengkilap metal ( Autosol )
- Tempatkan benda uji diatas meja yang tersedia( saat kalibrasi tempatkan “ hardnessblock “ )
- Tempatkan unit aplikasi beban pada posisi kerjanya.
- Aplikasikan beban dengan mendongkel “arm” kedepan sehingga pengujian atau indentor akan mengenai benda uji.
- Geser unit aplikasi beban ke kanan sehingga unit mikroskop sekarang berada diatas benda uji.
- Cara pengukuran hasil identasi adalah dengan menghitung jumlah garis atau jarak bekas indentasi Vickers.

#### Ketebalan Lapisan

Cara yang kedua adalah dengan matematis dengan membandingkan massa lapisan yang terbentuk dengan massa jenis pelapis dan luas permukaan setelah dilapisi [2].

$$T = \frac{W}{\rho \cdot A}$$

dengan :

T = tebal lapisan yang terbentuk (cm)

W = m<sup>2</sup>- m<sup>1</sup>= masa lapisan yang terbentuk (gr)

#### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengamatan ketebalan Data yang diperoleh dari hasil pengukuran kemudian dihitung untuk mendapatkan ketebalan dari pelapisan krom kerasyang telah dilakukan. Salah satu perhitungan tersebut adalah pada 30 menit, arus listrik 40 ampere, panjang (p) = 7,02 cm, lebar (l) = 2,50 cm tebal (t) = 0,99 cm, massa specimen sebelum dilapisi (m<sub>1</sub>) = 131,11 gram, massa specimen setelah dilapisi (m<sub>2</sub>) = 131,75 gram. Untuk massa lapisan adalah W =(m<sub>2</sub>- m<sub>1</sub>) = 131,75 - 131,11 =0,64 gram. Luas (A)= 2pl + 2pt + 2lt = 2 ( 7,02 x2,50 ) + 2 ( 7,02 x 0,99 ) + 2 ( 2,50 x 0,99 ) = 53,85cm<sup>2</sup> Jadi tebal lapisan :

$$T = \frac{W}{\rho \cdot A} = 16,53 \mu\text{m}$$

dengan: ρ ( krom ) = 7,19 gram/cm<sup>3</sup> Setelah didapatkan tebal setiap specimen kemudian dirata-ratakan untuk setiap waktu pencelupan. Cara ini digunakan untuk semua penelitian kemudian hasil

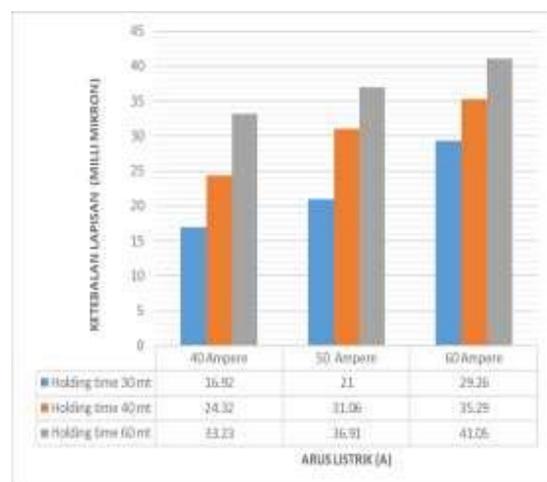
dari pada perhitungan tersebut dicatat kedalam tabel.

Tabel 1. Ketebalan lapisan chrom keras

Lama pelapisan (menit)	Arus listrik (Ampere)		
	40	50	60
30	16,92	21	29,26
45	24,32	31,06	35,29
60	33,23	36,91	41,05



Gambar 5. Hasil uji ketebalan



Gambar 6. Grafik ketebalan lapisan

Pada gambar 6 ditunjukkan bahwa dari hasil perhitungan yang telah ditabelkan didapat grafik hubungan antara waktu penahan dan arus listrik yang diberikan pada baja St. 60 terhadap ketebalan lapisan yang dihasilkan. Hasil ini menunjukkan bahwa ketebalan lapisan meningkat sejalan dengan meningkatnya arus listrik dan waktu pelapisan yang lebih lama. Hasil ketebalan lapisan terendah terlihat pada arus 40 ampere dan waktu pelapisan 30 menit yaitu sebesar 16.92 μm, sedangkan ketebalan lapisan tertinggi terjadi pada arus 60 ampere dan waktu pelapisan 60 menit yaitu sebesar 41.05 μm. Meningkatnya ketebalan lapisan terjadi

karena sampai dengan waktu pelapisan 60 menit krom yang mengendap pada permukaan logam dasar semakin bertambah sejalan dengan waktu pelapisan yang semakin lama. Pada grafik terlihat ketebalan lapisan tidak merata untuk semua permukaan, ini di pengaruhi oleh arus listrik, dimana pada reaksi kimia elektron mengalir akibat selisih arus antara anoda dan katoda di dalam larutan, sehingga distribusi daya listrik yang dilepas oleh ion-ion anoda krom tidak merata. Hantaran daya listrik dari anoda kepermukaan datar lebih besar di dibandingkan ke bagian permukaan yang tidak datar, sehingga permukaan pada bagian tidak datar menerima endapan krom yang lebih tipis dibandingkan dengan permukaan datar.

Data hasil pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan lapisan dilakukan di Laboratorium Logam Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana. Data yang diperoleh dari hasil pengujian kemudian dihitung untuk mendapatkan kekerasan dari lapisan krom keras yang telah dilakukan [7]. Perhitungan : skala konstan (10 X pembesaran)

$$\begin{aligned}
 a &= 0,1 \text{ (mm) pembesaran} \\
 b &= 0,02 \text{ (mm) pembesaran} \\
 p &= 10 \text{ kg, } a_1= 3, \\
 b_1 &= 45, a_2= 3, b_2= 50 \\
 d_1 &= a_1 \times \text{skala } a + b_1 \times \text{skala } b \\
 &= 3 \times 0,1 + 45 \times 0,02 \\
 &= 0,3 + 0,9 \\
 &= 1,2 \text{ mm} \\
 d_2 &= a_2 \times \text{skala } a + b_2 \times \text{skala } b \\
 &= 3 \times 0,1 + 50 \times 0,02 \\
 &= 0,3 + 1,0 \\
 &= 1,3 \text{ mm} \\
 d &= \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{1,2 + 1,3}{2} = 1,25 \text{ mm} \\
 HVN &= 1,854 \frac{p}{d^2} = 1,854 \frac{10}{(1,25)^2} \\
 &= 1,854 \frac{10}{1,5625} \\
 &= 118,755 \text{ kg/mm}^2
 \end{aligned}$$

keterangan :

- $a_1, b_1, d_1$  = ditinjau secara vertikal
- $a_2, b_2, d_2$  = ditinjau secara horizontal
- $P$  = beban yang diberikan (kg)

Tabel 2. Hasil Uji Kekerasan Tanpa Pelapisan

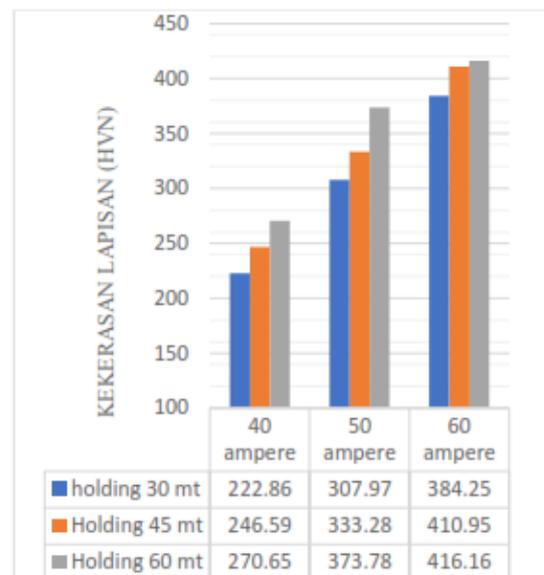
No	a1	b1	a2	b2	d1	d2	d	HVN	HVN Rata-rata
1	3	38	3	40	0.376	0.38	0.378	129.75	
2	3	36	3	38	0.372	0.374	0.374	132.546	131.378
3	3	36	3	39	0.732	0.375	0.375	131.84	



Gambar 7. spesimen uji kekerasan

Tabel 3. Hasil Kekerasan dengan Pelapisan

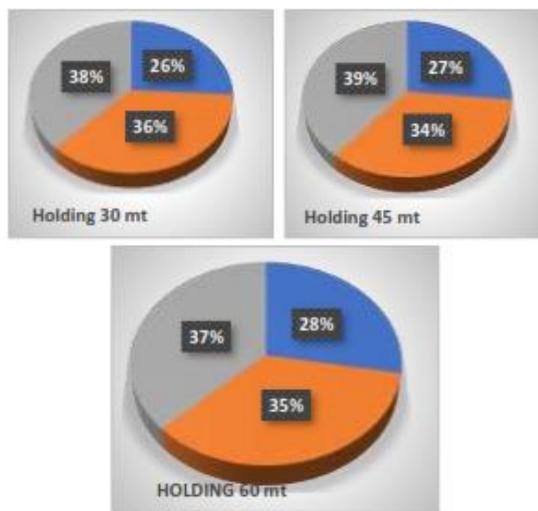
Lama pelapisan (ment)	Arus listrik (Ampere)		
	40	50	60
30	222.86	307.97	384.25
45	246.59	333.28	410.95
60	270.65	373.78	416.16



Gambar 8. grafik Kekerasan dengan Pelapisan

Pada gambar 8 menunjukkan bahwa meningkatnya kekerasan lapisan akibat meningkatnya besar arus listrik dan waktu penahanan. Peningkatan besar arus listrik yang diberikan dari 40 ke 60 A rata-rata kekerasannya meningkat dari 222,86 kg/mm<sup>2</sup> menjadi 384,25 kg/mm<sup>2</sup> dengan lama waktu penahanan 30 menit, dari kekerasan 246,59 kg/mm<sup>2</sup> menjadi 410,95 kg/mm<sup>2</sup> dengan lama waktu penahanan 45 menit, dari kekerasan 270,65 kg/mm<sup>2</sup> menjadi 416,16 kg/mm<sup>2</sup> dengan lama waktu penahanan 60 menit. Prosentase peningkatan kekerasan dari sebelum dilapisi dengan setelah dilapisi terlihat pada gambar

9, ditunjukkan prosentase peningkatan pada masing-masing waktu penahanan 30, 45 dan 60 menit. Perentase yang tertinggi terjadi pada perlakuan 30 menit dengan arus 60 ampere sebesar 36% (0.59482), pada perlakuan 45 menit dengan arus 60 ampere sebesar 39% (0.68030) dan pada perlakuan 60 menit dengan arus 60 ampere sebesar 37% (0.6843089). Jadi prosentase peningkatan kekerasan yang tertinggi mempengaruhi kekerasan. Sedangkan peningkatan kekerasan terendah sebesar 26% (0.41049) terjadi pada 30 menit holding time dengan arus 40 ampere. Seperti yang terlihat pada gambar 9.



Gambar 9. Persentase peningkatan kekerasan pada masing-masing peningkatan waktu tahan 30, 45 dan 60 menit

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian proses waktu penahanan (*holding time*) dan arus listrik yang digunakan pada proses elektroplating krom keras sangat mempengaruhi hasil ketebalan lapisan. Dari range arus listrik 40 A sampai 60 A dan waktu penahanan 30 menit sampai 60 menit didapatkan lapisan yang paling tebal adalah pada arus listrik 60 Ampere dengan waktu pelapisan 60 menit sebesar 41,05 mikrometer.

Dari penelitian hasil ketebalan lapisan, waktu penahanan (*holding time*) dan arus listrik yang digunakan pada proses elektroplating krom keras juga mempengaruhi kekerasan lapisan. Dari range arus listrik 40 A sampai 60 A dan waktu penahanan

30 menit sampai 60 menit didapatkan lapisan yang paling keras adalah pada arus listrik 60 Ampere dengan waktu pelapisan 60 menit sebesar 416,16 kg/mm<sup>2</sup>

## SARAN

Saran yang dapat diajukan agar percobaan berikutnya dapat lebih baik dan dapat menyempurnakan percobaan yang telah dilakukan dalam penelitian ini, adalah dalam melakukan proses pelapisan krom keras harus memperhatikan keselamatan kerja karena baik larutan plating krom keras maupun udara hasil pemanasan larutan plating krom keras sangat berbahaya bagi kesehatan. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai elektroplating krom keras dengan melakukan variasi tegangan atau dengan memakai spesimen yang berbeda.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Keenan, Charles W, 1980, *Ilmu Kimia untuk Universitas*, edisi keenam jilid I alih bahasa Aloysius Hadyana Pudjaatmaka, Ph.D., Erlangga, Jakarta.
- [2] Azhar A. Saleh, *Pelapisan Logam*, Balai Besar Pengembangan Industri Logam dan Mesin.
- [3] Bettina Kerle, Mathias Opper, Sigrid VolkSurTec GmbH, 2000, *Hexavalent Chromium Processes*
- [4] Protsenko, V.S., dkk, 2011, *Preparation and Characterization of Nanocrystalline Hard Chromium Coatings Using Eco-Friendly Trivalent Chromium Bath*, Department of Physical Chemistry Ukrainian State University of Chemical Technology GagarinAv. 8, Ukraine.
- [5] Prado, R.A., 2009, *Electrodeposition of Nanocrystalline Cobalt Alloy Coatings As a Hard Chrome Alternative*, Integran Technologies, Inc. 1 Meridian Rd. Toronto, Ontario, Canada.
- [6] Putra Widia Semara, I Pt. 2005, "TA pengaruh Kuat arus Listrik Dan Waktu Pelapisan Terhadap Ketebalan Pelapisan Nikel" Udayana, BALI.
- [7] Suarsana, I Kt, 2004 "Petunjuk Praktikum Ilmu Logam," Universitas Udayana, Bali

## RANCANG BANGUN *PROBE BOBBIN DIFFERENTIAL* UNTUK PEMERIKSANAAN TUBE 1,5 INCHI PADA EDDY CURRENT TESTING

Suroso<sup>1\*</sup>, Anggi Sania Putri<sup>1</sup>, Tasih Mulyono<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir, Jl. Babarsari PO. BOX 6101 YKBB, Yogyakarta, 55181

Email: \*surosohadi09@gmail.com

### ABSTRAK

Kondensor berfungsi untuk mengkondensasi uap air untuk berubah fase menjadi cair kembali, sehingga perpindahan panas antara fluida pendingin dengan uap keluaran turbin dapat maksimal. Untuk itu kondisi permukaan tube air pendingin harus dipelihara kebersihannya. Salah satu cara perawatan yang sesuai untuk mengetahui kondisi tubing adalah dengan eddy current testing. Penelitian ini bertujuan untuk membuat probe bobbin differential untuk pemeriksaan tube dengan diameter 1,5 inci pada eddy current testing. Metode pembuatan probe dimulai dari disain, perhitungan dan machining, hingga pengujian dilakukan pada tube (benda uji dengan cacat standar) dengan mensimulasikan cacat (100%, 75%, 50%, dan 25%). Pengujian dilakukan dengan variasi frekuensi 25kHz sampai dengan 150kHz untuk diteliti sinyal hasil keluaran probe yang digunakan dalam pengujian. Hasil dari penelitian probe bobbin differential mampu mendeteksi cacat pada kedalaman 0,5mm dari permukaan luar tube. Spesifikasi probe antara lain: Tipe probe bobbin differential, diameter probe 31mm, Panjang probe 12mm, frekuensi kerja optimal 21kHz – 75kHz, dan gain 35dB. rancang bangun, probe bobbin differential, eddy current testing.

Kata Kunci: rancang bangun, probe bobbin differential, eddy current testing.

### PENDAHULUAN

Kondensor merupakan alat penukar kalor yang berfungsi untuk mengkondensasi uap keluaran turbin. Uap setelah memutar sudu langsung mengalir menuju kondensor untuk diubah menjadi air (dikondensasi), maka kemampuan kondensor dalam mengkondensasi uap keluaran turbin harus benar-benar diperhatikan, agar perpindahan panas antara fluida pendingin dengan uap keluaran turbin dapat maksimal.

Kondisi permukaan tube sisi air pendingin harus dipelihara kebersihannya, dikarenakan kotoran-kotoran yang sering menempel pada permukaan tube dalam waktu yang lama akan muncul adanya *defect* atau cacat, dapat berupa *crack*, korosi, erosi, denting dan retak[1]. Sehingga kondisi permukaan *tube* dilakukan pemeriksaan agar kondensor dapat tetap beroperasi secara optimal [2][3]. Salah satu teknik yang paling sesuai untuk pemeriksaan tubing adalah teknik pengujian Eddy Current [4].

*Eddy Current testing* adalah salah satu dari metode *non-destructive test* (NDT) yang menggunakan prinsip “elektromagnetisme” sebagai dasar untuk melakukan pemeriksaan [5][6][7]. Larista menyatakan bahwa dalam

pelaksanaan pengujian Eddy Current memanfaatkan daya listrik dengan bantuan *probe*. [8].

Salah Satu *probe* yang paling banyak digunakan untuk pengujian adalah *probe bobbin differential* karena penggunaannya yang mudah. *Probe* ini memiliki kemampuan yang handal untuk mendeteksi cacat yang bersifat *volumetric* seperti *fretting wear* dan korosi sumuran pada *tubing* [4]. Alat *probe* dimasukkan ke dalam *tube* untuk membaca ada tidaknya *defect*. Selanjutnya, hasil visual penggambaran *defect* yang terdeteksi oleh *probe* akan ditampilkan secara visual pada monitor. Karena setiap ukuran *tube* yang diperiksa bervariasi diameter dan ketebalannya, maka desain dan pengembangan *probe Eddy Current* sangatlah penting. Hal ini dikarenakan *probe* merupakan komponen yang menentukan probabilitas deteksi dalam pengujian Eddy Current [9]. Sehingga diperlukan berbagai macam ukuran probe untuk menunjang keakuratan dalam pembacaan cacat pada pengujian Eddy Current [10]

### METODOLOGI

Pada dasarnya proses perancangan alat ini terdiri dari dua tahapan. Tahap pertama adalah perancangan rangka alat. Tahap kedua adalah

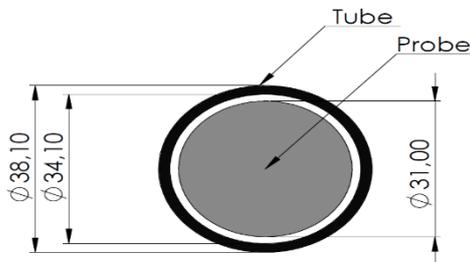
perancangan lilitan. Tahap perancangan rangka alat harus dilaksanakan terlebih dahulu, hal ini dikarenakan dalam membuat *probe* untuk pemeriksaan *tubing*, ukuran diameter atau geometri penampang lilitan sangat mempengaruhi respon arus eddy yang berkaitan dengan *lift-off* atau kedekatan antara kumparan dengan permukaan benda uji. Sehingga dibutuhkan luas penampang lilitan yang mendekati permukaan dalam benda uji (*tube*).

### Tahap Perancangan Rangka Alat

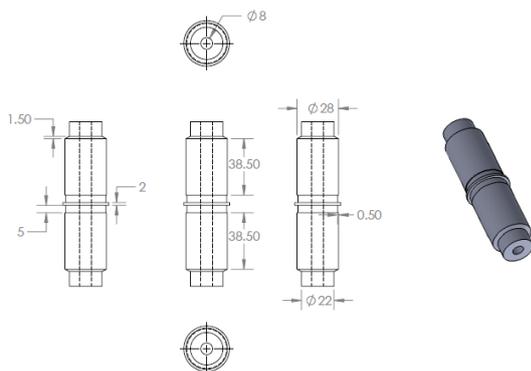
#### 1. Perancangan *body probe*

*Body probe* digunakan sebagai penampang kumparan (lilitan). Perancangan *body probe* didasarkan pada :

- Ukuran diameter *tube* (obyek uji)  
Adapun ukuran diameter probe bobbin differential dirancang berdasarkan skema Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Skema Perancangan Diameter Probe Bobbin Differential



Gambar 2. Perancangan Body Probe Bobbin Differential

Pada skema Gambar 5 di atas, dapat dilihat bahwa *tube* yang digunakan sebagai obyek uji memiliki diameter luar (OD) 38,1mm, dengan ketebalan 2mm sehingga untuk menentukan ukuran diameter *tube* digunakan diameter dalam nominal 34,1mm.

- Respon arus eddy (*lift-off*)  
Penentuan diameter ini didasarkan pada teori respon arus eddy yang dinyatakan

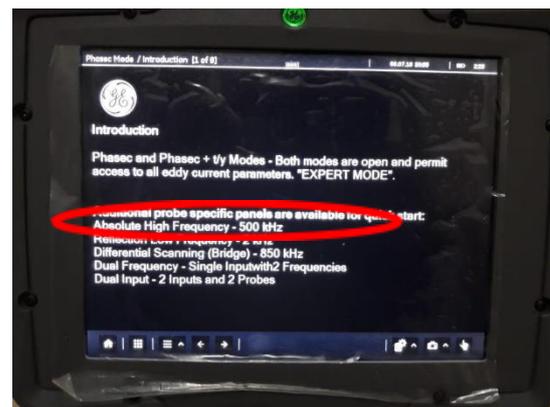
oleh Yunika (2017) bahwa salah satu yang mempengaruhi respon arus eddy adalah kedekatan atau *lift-off*.

### Tahap Perancangan Lilitan

Pada dasarnya, untuk menentukan jumlah lilitan ini didasarkan pada spesifikasi instrumen *eddy current* dari “MENTOR EM FLAW DETEKTOR”, spesifikasi pengoperasian probe *differential* pada “MENTOR EM FLAW DETEKTOR” dan perancangan *body probe* (Gambar 3.4). Adapun spesifikasi “MENTOR EM FLAW DETEKTOR” instrumen *eddy current* ditunjukkan pada Tabel 1 dan spesifikasi pengoperasian *probe differential* ditunjukkan pada Gambar 3.

Tabel 1. Spesifikasi Instrumen *Eddy Current*

Item	Spesifikasi
Frequency Range	10 Hz -to 6 MHz
Drive Voltage	16 peak-to-peak at 1 A-turn
Gain	0 – 120 dB
Frequency adjustable	50kHz



Gambar 8 Spesifikasi *probe differential*

Berdasarkan spesifikasi pada Tabel 1 dan Gambar 8, dapat dilihat bahwa tegangan maksimumnya adalah 16 volt AC, dengan arus 1 A-turn. Sedangkan untuk frekuensi 10 Hz – 6 MHz. Namun, untuk pengoperasian *probe differential* pada instrumen *eddy current* “MENTOR EM FLAW DETEKTOR” frekuensi maksimal pengoperasian *probe differential* adalah 850 KHz dengan frekuensi kalibrasi 50kHz. Sedangkan untuk memperoleh medan magnet yang besar dan arus eddy yang sensitif dibutuhkan frekuensi yang rendah.

- Penentuan nilai tegangan efektif ( $V_{eff}$ )

Berdasarkan persamaan (2.2), dengan besarnya  $V_m=16$  volt, maka besarnya tegangan efektif adalah :

$$V_{eff} = \frac{V}{\sqrt{2}}$$

$$V_{eff} = \frac{16 \text{ volt}}{\sqrt{2}}$$

$$V_{eff} = 11,3 \text{ volt}$$

- b. Penentuan nilai reaktansi induktif ( $X_L$ )  
Substitusikan nilai  $V_{eff}$  pada persamaan (2.3), dengan nilai  $E=V_{eff}$  dan nilai  $I_L=1$  A-turn. Maka besarnya reaktansi induktif adalah :

$$I_L = \frac{E}{X_L}$$

$$X_L = \frac{E}{I_L}$$

$$X_L = \frac{11,3}{1}$$

$$X_L = 11,3 \Omega$$

- c. Penentuan nilai induktansi ( $L$ )  
Substitusikan nilai  $X_L$  pada persamaan (2.4), dengan nilai berikut

$$X_L = 2 \pi f L$$

$$11,3 \Omega = 2 \times (3,14) \times (25 \times 10^3) \text{ Hz} \times L$$

$$11,3 \Omega = 6,28 \times 25 \times 10^3 \times L$$

$$L = \frac{11,3 \Omega}{6,28 \times (25 \times 10^3) \text{ Hz}}$$

$$L = 0,07 \times 10^{-3} \text{ H}$$

$$L = 0,07 \times 10^{-3} \frac{W_b}{A}$$

- d. Menghitung luas penampang lilitan ( $A$ )  
Berdasarkan perancangan body probe, didapatkan diameter penampang lilitan adalah 27mm. Sehingga dengan ini dapat dihitung besarnya luas penampang lilitan adalah :

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

$$A = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 27^2$$

$$A = 572,3 \text{ mm}^2$$

$$A = 572,3 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A = 0,5723 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A = 0,6 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

- e. Banyaknya lilitan ( $N$ )  
Substitusikan nilai  $X_L$  dan  $A$  pada persamaan (2.1), untuk menentukan jumlah lilitan maksimal yang diperoleh untuk perancangan probe differential. Adapun banyaknya lilitan adalah :

$$L = \mu_0 \frac{N^2 A}{l}$$

$$L = \mu_0 \frac{N^2 A}{l}$$

$$0,07 \times 10^{-3} = 4 \pi \times 10^{-7} \frac{N^2 \times (0,6 \times 10^{-3})}{(5 \times 10^{-3})}$$

$$0,35 \times 10^{-3} = 7,2 \times 10^{-7} \times N^2$$

$$N^2 = \frac{0,35 \times 10^{-3} \frac{W_b}{A}}{7,2 \times 10^{-7} \frac{W_b}{A}}$$

$$N^2 = 490$$

$$N = \sqrt{490}$$

$$N = 22,13$$

Berdasarkan spesifikasi instrumen *eddy current* “MENTOR EM FLAW DETEKTOR” didapatkan hasil bahwa jumlah lilitan pada arus 1 A-turn didapatkan jumlah lilitan sebanyak 22 lilitan, dalam prakteknya dibuat 40 lilitan. Maka dengan hasil ini, dilakukan perhitungan besarnya jumlah arus maksimal yang melewati 40 lilitan pada arus 1 A-turn.

## 2. Pembuatan Rangka Alat

Pada dasarnya tahap pembuatan alat probe *bobbin differential* ini terdiri dari pembuatan *body probe* dan pembuatan *casing probe*. Berikut merupakan tahap pembuatan rangka *probe bobbin differential*.

### 1. Pembuatan *body probe*

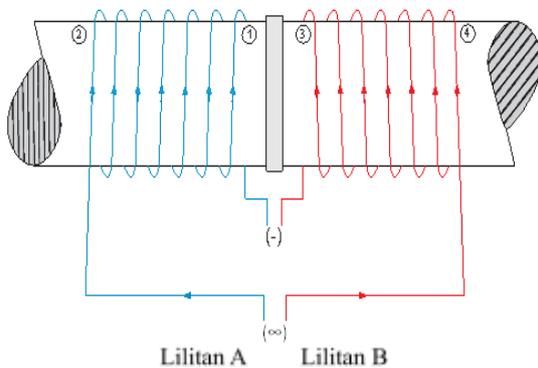
*Body probe* atau sebagai penampang lilitan dibuat dengan menggunakan bahan dielektrik. Hal ini dikarenakan agar induksi yang dihasilkan lilitan tidak terjadi di penampang lilitan tetapi di objek uji (*tube*). Selain itu, pemilihan bahan dielektrik dari akrilik ini dikarenakan bahan ini mudah dibentuk serta mudah didapatkan di pasaran/murah. Pembuatan *body probe* ini secara keseluruhan melalui proses pembubutan. Adapun skema *body probe* dapat dilihat pada perancangan *body probe* pada Gambar 6..

### 2. Pembuatan *casing probe*

*Casing probe* dibuat dari bahan dielektrik yang memiliki kekuatan untuk menahan tegangan. Bahan yang digunakan dan sesuai dengan tujuan adalah P.T.F.E (Teflon). Bahan P.T.F.E dengan diameter 1,25 inchi dilakukan proses pembubutan sehingga menjadi bentuk seperti yang telah dirancang dalam proses perancangan *casing probe*.

## 3. Perakitan Alat

Pada tahap perakitan alat ini, *body probe* yang telah berhasil dibuat dilanjutkan dengan melilitkan kawat ke *body probe*. Pada proses membuat lilitan ini perhatikan pada Gambar 3.8 di bawah ini sebagai acuan proses melilit.



Gambar 9. Skema Lilitan Probe Bobbin Differential

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Hasil *body probe*

*Body probe bobbin differential* dibuat dengan bahan akrilik plat setebal 4cm dengan panjang 10cm yang dibubut menjadi akrilik silinder berdiameter 31mm. Bagian kanan dan kiri *body probe* berdiameter 28 mm, bagian dudukan lilitan (penampang lilitan) berdiameter 27mm selebar 5mm, sedangkan di bagian pembatas tengah berdiameter 31mm sebagai jarak antara lilitan kanan dan kiri serta sebagai pembatas *casing probe* depan dan belakang dengan lebar 2mm. Pada ujung kanan dan kiri *body probe* terdapat ulir untuk pemasangan *casing probe* depan dan belakang. Bagian tengah diameter *body probe* terdapat lubang yang menembus diameter *probe* dari ujung ke ujung. Hal ini bertujuan untuk memudahkan proses perakitan lilitan dengan konektor. Bagian permukaan kanan dan kiri *body probe* terdapat dua buah lubang kecil (kira-kira 1,5mm) pada masing-masing permukaan *probe* yang dibuat untuk mempermudah proses perakitan lilitan. Berikut merupakan hasil dokumentasi *body probe bobbin differential* yang telah dibuat Gambar 10 dan Gambar 11.



Gambar 10. Body Probe Bobbin Differential



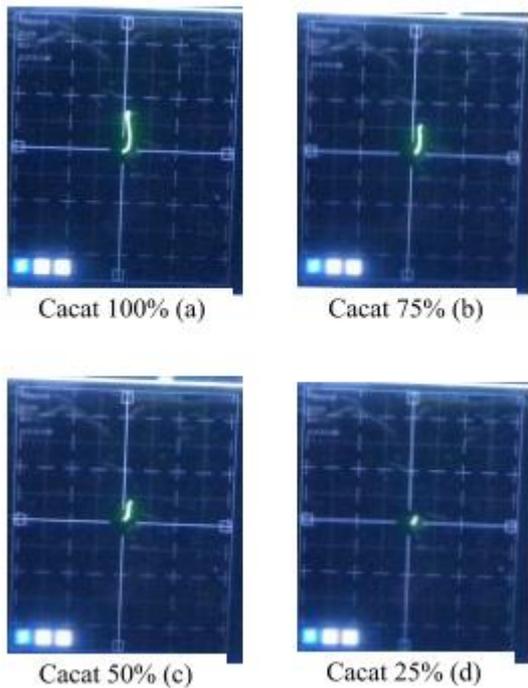
Gambar 11. Probe Bobbin Differential

### 2. Hasil Sinyal keluaran cacat

Pengujian *probe bobbin differential* bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja alat dalam mendeteksi cacat pada benda uji (*tube*) yang telah dibuat dari bahan *stainless steel* yang berdiameter 1,5 inci (OD=38,1mm) dengan ketebalan 2mm. Benda uji yang digunakan dibuat dengan mensimulasikan cacat 100%, 75%, 50%, dan 25%. Pada cacat 100%, *tube* berada dalam kondisi berlubang atau cacat maksimal (2mm), sedangkan untuk cacat 75% cacat berada pada kedalaman 1,5mm, cacat 50% berada pada kedalaman 1mm dan cacat 25% berada pada kedalaman 0,5mm.

Pada proses pengujian *probe* terhadap keluaran sinyal hasil deteksi cacat, *gain* yang digunakan sebagai *gain* kerja *probe* sebesar 35 dB. *Gain* pada instrumen *eddy current* berfungsi sebagai penguat sinyal yang mana jika *gain* yang digunakan terlalu besar maka *noise* yang tertampil di layar CRT juga semakin besar sehingga dapat mengganggu proses pembacaan. Selain *gain*, dalam pemeriksaan pada teknik *eddy current* ini juga harus diperhatikan frekuensi kerja *probe*.

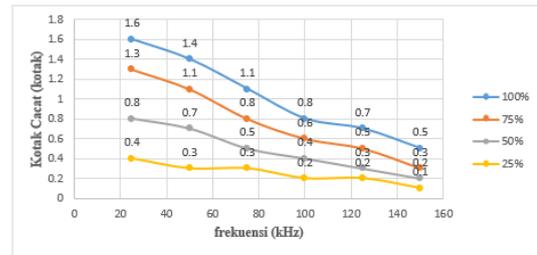
Pada penelitian ini telah ditentukan frekuensi terendah untuk pengujian *probe bobbin differential* yang dibuat. Berdasarkan pada perancangan awal, bahwa pada pengujian ini frekuensi terendah dimulai dari 25kHz. Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan rentang frekuensi kerja optimum *probe bobbin differential* yang dibuat. Variasi frekuensi ini dicari dengan cara melihat sinyal keluaran cacat yang dideteksi oleh *probe* berdasarkan tinggi rendahnya sinyal histerisis yang terbentuk. Adapun hasil pengukuran sinyal keluaran pada cacat yang terdeteksi oleh *probe* dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Hasil Pengukuran Sinyal Keluaran Cacat pada Frekuensi 25 kHz

Gambar 12, merupakan cara pendokumentasian dalam pengukuran sinyal keluaran hasil deteksi cacat *probe bobbin differential* yang dibuat pada frekuensi 25kHz dengan lilitan maksimal 100. Gambar 12.a menunjukkan besarnya sinyal keluaran deteksi cacat pada saat kumparan atau lilitan *probe* melewati simulasi cacat 100%. Penyimpangan yang ditunjukkan pada layar CRT menunjukkan hasil kurva-histerisis setinggi 1,6 kotak. Pada cacat 75% (Gambar 12.b) kurva-histerisis mulai menurun menunjukkan angka deteksi 1,3 kotak, untuk cacat 50% (Gambar 12.c) simpangan kurva-histerisis menunjukkan angka 0,8 kotak. Sedangkan pada saat mendeteksi cacat terkecil (25%) dengan kedalaman cacat 0,5mm, simpangan menunjukkan angka 0,4 kotak (Gambar 12.d). Dengan hasil ini dapat diketahui bahwa dengan *probe bobbin differential* yang dibuat telah mampu mendeteksi cacat terkecil pada obyek uji (*tube*). Dengan proses dokumentasi yang sama didapatkan hasil pengukuran pembacaan sinyal keluaran deteksi cacat pada frekuensi 50kHz, 75kHz, 100kHz, dan 125kHz, dan 150 kHz yang ditunjukkan pada Gambar 13.

Gambar 13 menggambarkan grafik hubungan antara frekuensi dengan kotak cacat, penggambaran grafik ini menjelaskan pengaruh frekuensi dari yang terkecil (25kHz) ke yang terbesar (150kHz) terhadap sinyal deteksi cacat saat mengenai cacat pada benda uji dari cacat terbesar (100%) dengan kedalaman cacat 2mm atau dalam keadaan lubang yang dinyatakan dengan garis biru.



Gambar 13 Grafik Hubungan Frekuensi dengan Sinyal Keluaran Cacat

Cacat (75%) dengan kedalaman cacat 1,5mm yang dinyatakan dengan garis orange. Cacat (50%) dengan kedalaman cacat 1mm yang dinyatakan dengan garis abu-abu serta cacat terkecil (25%) dengan kedalaman cacat 0,5mm yang dinyatakan dengan garis kuning.

Pada grafik (Gambar 13) di atas menunjukkan pengaruh variasi frekuensi terhadap sinyal keluaran cacat atau kotak cacat yang terbaca pada saat *probe bobbin differential* mendeteksi adanya cacat dengan jumlah lilitan maksimal 100. Pada saat *probe* mengenai cacat terbesar 100% dengan frekuensi kerja 25kHz, kotak cacat yang terdeteksi pada saat *probe* mengenai cacat terbesar (100%) menunjukkan hasil sinyal 1,6 kotak sedangkan pada saat frekuensi kerja 50kHz ketika *probe* mengenai cacat 100% didapatkan hasil sinyal 1,4 kotak. Dilanjutkan pada frekuensi 75kHz hasil sinyal keluaran cacat yang ditunjukkan semakin berkurang (kecil) yaitu sebesar 1,1 kotak.

Begitu pula saat *probe* mendeteksi cacat 75%, dengan frekuensi kerja 25kHz kotak cacat yang terdeteksi oleh *probe* menunjukkan hasil sinyal 1,3 kotak sedangkan pada saat frekuensi kerja 50kHz hasil sinyal deteksi cacat sebesar 1,1 kotak. Dilanjutkan pada frekuensi 75kHz hasil sinyal keluaran cacat yang ditunjukkan semakin berkurang (kecil) yaitu sebesar 0,8 kotak. Hal ini juga terjadi pada saat *probe* mendeteksi cacat 50% dan cacat 25%. Pada cacat 50%, hasil deteksi sinyal cacat terbesar juga terbaca pada saat frekuensi 25kHz yaitu sebesar 0,8 kotak, sedangkan pada saat frekuensi 150kHz hanya mampu mendeteksi sinyal cacat sebesar 0,2 kotak. Kemudian pada cacat 25%, *probe* masih dapat membaca sinyal keluaran pada frekuensi 25kHz dengan hasil deteksi cacat 0,4 kotak. Dengan hasil pembacaan tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar frekuensi kerja suatu *probe* maka sinyal keluaran yang ditampilkan di layar CRT instrumen *eddy current* juga semakin kecil atau berkurang.

Berdasarkan teori yang dinyatakan oleh Yunika (2017) bahwa besarnya frekuensi yang diterapkan pada konduktor berbanding lurus dengan arus yang mengalir pada permukaan konduktor [11]. Pada saat dilakukan pengujian

dengan frekuensi 20kHz, *probe bobbin differential* tidak dapat menunjukkan hasil keluaran sinyal deteksi cacat atau terjadi *load* (layar tidak mampu menampilkan hasil sinyal deteksi cacat). Hal ini dikarenakan, setiap *probe* pasti memiliki rentang frekuensi kerja terendah yang tidak dapat dinyatakan dengan besaran nol. Sedangkan pada frekuensi 21kHz *probe* mampu mendeteksi cacat yang mana hasil sinyal keluaran cacat pada rentang 21kHz sampai dengan 25kHz memiliki rentang sinyal yang hampir sama. Sehingga, dengan pembacaan hasil sinyal analog ini sangat kesulitan untuk membedakan tinggi-rendahnya sinyal secara pasti. Sehingga pada pengujian ini, dilakukan pengujian dengan rentang pengukuran '25' untuk melihat perubahan tinggi-rendahnya sinyal dan dapat mempermudah pembacaan data. Maka pada hasil pengujian ini, dapat diketahui bahwa *probe bobbin differential* yang dibuat memiliki rentang frekuensi kerja terbaik pada frekuensi 21kHz – 75kHz dengan nilai *gain* optimal 35 dB. Pemilihan frekuensi kerja terbaik ini berdasarkan hasil deteksi cacat terkecil dengan skala  $\leq 0,3$  kotak.

#### KESIMPULAN

Telah berhasil dibuat *probe bobbin differential eddy current* untuk pemeriksaan cacat pada *tube* yang berdiameter 1,5 inci (38,1mm) dengan spesifikasi alat :

Tabel 2. Spesifikasi Alat

Tipe <i>probe</i>	<i>Bobbin differential</i>
Diameter <i>probe</i>	31mm
Panjang <i>probe</i>	12mm
Frekuensi	21kHz – 75kHz
<i>Gain</i>	35 dB

*Probe bobbin differential* yang dibuat ini mampu mendeteksi cacat terkecil dengan kedalaman 0,5mm dari permukaan luar *stainless steel tube*.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Putra, I. 2017. *Studi Perhitungan Heat Exchanger Type Shell and Tube Dehumidifier Biogas Limbah Sawit untuk Pembangkit Listrik Tenaga Biogas*. Journal Polimesin : Bekasi, Jawa Barat.
- [2] ASME. 2005. *Indications in Thermally Treated Alloy 600 Steam Generator Tubes and Tube-to-Tubesheet Welds*. Energy Inf. Administration : Vienna.
- [3] Ihsan, S., 2017. *Perencanaan dan Analisa Perhitungan Jumlah Tube dan Diameter Shell pada Kondensor Berpendingin Air pada Sistem Refrigerasi NH3*. Universitas Islam Kalimantan : Banjarmasin, Indonesia.
- [4] Haryanto, M., Nitiswati, S., 2013. *Studi Jenis Probe Eddy Current Untuk Inspeksi Pembangkit Uap PWR*. Sigma-BATAN : Serpong
- [5] Janoušek, L., Marek, T., Gombárská, D., Čápková, K. 2006. *Eddy current non-destructive testing of magnetic tubes*. Journal Electromagnetic : Inggris.
- [6] Free, G.M., 1977. *Eddy Current Nondestructive Testing*, 3. National Bureau of Standards : Maryland.
- [7] ASNT. 2007. *ASNT Level III Study Guide. Classroom Training Handbook* : Columbus.
- [8] Larista, A. 2011. *NDT DENGAN METODE EDDY CURRENT*. Fakultas Teknik Mesin, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa : Cilegon, Banten.
- [9] Wantana, Rohim, Heru Prayitno., 2011. *Pembuatan Probe Eddy Current Differensial*. SIGMA Epsil : Yogyakarta.
- [10] Byrne, R.C. 1999. *TEMA (8th 1999) Standards Of The Tubular Exchanger*. Vienna International Centre : Vienna.
- [11] Yunika, D., 2017. *Pemeriksaan NDT Dengan Metode Eddy Current Examination (Tugas Akhir)*. Universitas Sriwijaya : Palembang.

## TEKSTUR PERMUKAAN KARBON AKTIF YANG DIAKTIVASI MENGUNAKAN ASAM POSPAT DENGAN VARIASI SUHU AKTIVASI

Dewa Ngakan Ketut Putra Negara<sup>1\*</sup>, Tjocorda Gde Tirta Nindhia<sup>1</sup>, I Made Astika<sup>1</sup>,  
Cokorda Istri Putri Kusuma Kencanawati<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Staf Pengajar Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana, Jl. Kampus Bukit Jimbaran,  
Badung, Bali, 80261

Email: \*devputranegara@gmail.com

### ABSTRAK

Karbon aktif dari bambu swat telah diproduksi melalui proses karbonisasi pada suhu 750°C ditahan selama 60 menit dan diaktivasi secara kimia menggunakan agen pengaktif asam pospat dengan variasi suhu aktivasi 400, 550 dan 700°C selama 90 menit. Efek beda suhu aktivasi ini terhadap tekstur dan morfologi permukaan karbon aktif dievaluasi dengan karakterisasi melalui uji adsorpsi isotherm pada suhu 77,3 K dan uji SEM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa meningkatnya suhu aktivasi menghasilkan volume pori yang semakin kecil, namun menghasilkan luas permukaan pori dan diameter pori yang berfluktuasi. Kondisi tekstur permukaan terbaik diperoleh pada karbon aktif yang diaktivasi pada suhu 400°C karena menghasilkan luas permukaan pori dan volume pori tertinggi yaitu masing-masing 456,30 m<sup>2</sup>/g dan 0,445 cc/g dan kecenderungan pori sebagian mesar pada daerah mikropori dengan rata-rata diameter pori sebesar 1,898 nm. Dari image SEM dapat dilihat bahwa morfologi permukaan karbon aktif menunjukkan sudah terbentuknya pori-pori yang semakin jelas dan semakin banyak dibandingkan dengan morfologi permukaan dari arang

Kata Kunci: Karbon aktif, asam pospat, aktivasi, tekstur permukaan

### PENDAHULUAN

Adsorben atau material penyerap adalah fasa padat yang memiliki permukaan luar dan dalam yang berinteraksi dengan molekul gas atau cairan [1], seperti zeolit dan karbon aktif. Patil dan Kulkarni (2012) mendefinisikan bahwa karbon aktif adalah suatu adsorben yang memiliki luas permukaan dan porositas dan dapat diproduksi dari bermacam material yang mengandung karbon [2]. Karbon aktif banyak diterapkan di berbagai bidang kehidupan manusia seperti untuk menghilangkan logam berat [3], menghilangkan belerang [4], penyimpanan metana [5,6,7,8,9,10], penyerapan benzena [11,12], sebagai material desulfurizer [13], pemurnian air [14] dan udara [15,16], adsorpsi pewarna metilen biru [17], sebagai bahan super kapasitor [18,19], dll. Hal ini disebabkan karena karakteristik permukaannya yang sangat baik [20] seperti area permukaan dan volume pori yang tinggi. Untuk aplikasi pemurnian dan penyimpanan gas sangat terkait dengan karakteristik luas permukaan dan volume pori yang tinggi.

Secara umum karbon aktif diproduksi melalui tahap dehidrasi, karbonisasi dan aktivasi [18]. Dehidrasi merupakan proses meminimalan

kandungan air pada bahan baku yang dapat dilakukan baik melalui proses pemanasan di bawah sinar matahari maupun di dalam dapur listrik. Proses karbonisasi merupakan proses pembentukan porositas awal melalui pemanasan sampai suhu tertentu. Pada proses ini terjadi dekomposisi termal dengan meminimalkan kandungan non karbon dan moisture sehingga dapat meningkatkan kandungan fix carbonnya [21,22]. Tahap akhir adalah aktivasi yaitu proses untuk meningkatkan porositas dari arang sehingga memiliki permukaan yang lebih tinggi [23]. Aktivasi dapat dilakukan secara fisika ataupun secara kimia. Aktivasi kimia dilakukan dengan pemanasan dan pengaliran oksidasi lemah seperti CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> atau N<sub>2</sub>. Pada sisi lain, aktivasi kimia melibatkan katalis kimia seperti H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, ZnCl<sub>2</sub>, and KOH dalam proses aktivasinya.

Penggunaan karbon aktif yang semakin meningkat, mendorong pencarian bahan baku alternative yang mudah didapat, murah dan tersedia dalam jumlah yang besar. Salah satu bahan baku yang menjanjikan adalah bamboo. Pada makalah ini dibahas pembuatan karbon aktif dari bamboo swat dengan variasi lama aktivasi pada

aktivasi kimia terhadap karakteristik permukaan dari karbon aktif.

## METODE PENELITIAN

Persiapan bahan

Material yang digunakan sebagai bahan baku (*precursor*) adalah bambu swat (*Gigantochloa verticillata*) yang diperoleh dari Desa Melinggih Kelod, Payangan, Bali. Katalis yang digunakan adalah asam pospat ( $H_3PO_4$ ) yang dicampur dengan aquades.

### Pembuatan karbon aktif

Bambu dibersihkan dengan aquades, dipotong kecil-kecil dan dikeringkan di bawah sinar matahari selama 70 jam. Pengeringan dilanjutkan di dalam dapur listrik pada suhu  $105^\circ C$  selama 1 jam. Proses hidrolisis atau karbonisasi dilakukan dengan memasukkan bambu yang sudah kering ke dalam reaktor karbonisasi. Reaktor dimasukkan ke dalam dapur listrik dan dipanaskan sampai suhu  $750^\circ C$ , ditahan selama 1 jam, didinginkan di dalam dapur sampai mencapai suhu kamar. Arang hasil karbonisasi digiling halus menjadi serbuk. Selanjutnya dibuat slurry dengan mencampur serbuk dengan  $H_3PO_4$  dengan rasio 1:1 dan dengan aquades sehingga membentuk konsentrasi larutan 15%. Agar larutan homogen dilakukan pengadukan dengan magnetic stirrer pada suhu  $120^\circ C$ , selama 2 jam dengan putaran 250 rpm. Campuran dibiarkan selama 2,5 jam, selanjutnya dibilas dengan aquades. Selanjutnya diaktivasi pada suhu 400, 550 dan  $700^\circ C$ , selama 90 menit dengan dialiri  $N_2$ . Karbon aktif yang dihasilkan dinamai KA-S400, KA-S550 dan KA-S700 masing-masing untuk karbon aktif yang diaktivasi pada suhu 400, 550 dan  $700^\circ C$ .

### Karakterisasi karbon aktif

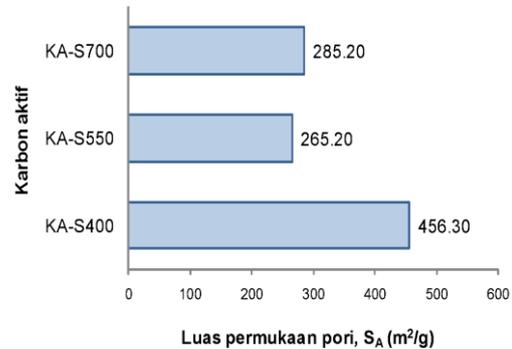
Karakterisasi terhadap karbon aktif dilakukan untuk mengetahui tekstur permukaan meliputi luas permukaan pori, volume pori, diameter pori dan morfologi struktur mikro. Pengujian yang dilakukan meliputi uji adsorpsi isotherm yang dilakukan pada suhu 77,3 K menggunakan *Quantachrome Nova version 11.0*. Uji ini bertujuan untuk mengetahui luas permukaan pori, volume pori, diameter pori. Sedangkan morfologi permukaan diobservasi menggunakan *scanning electron microscopy*, SEM (JSM-651OLA) dengan pembesaran 500X.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

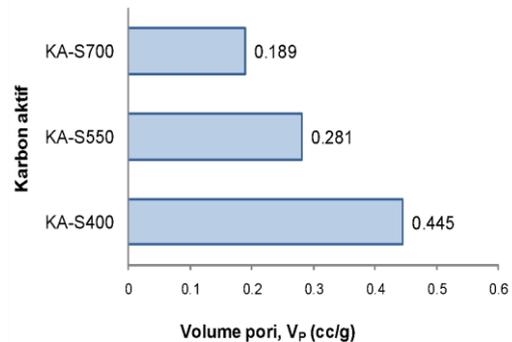
### Teksture permukaan karbon aktif

Teksture permukaan dari karbon aktif ditunjukkan pada gambar 1 sampai gambar 3. Pada gambar 1 ditunjukkan hubungan luas permukaan pori karbon aktif ( $S_A$ ) dengan suhu aktivasi. Dari gambar 1 dapat dilihat bahwa suhu aktivasi menghasilkan luas permukaan pori yang fluktuatif. Aktivasi pada suhu  $400^\circ C$  menghasilkan luas permukaan pori sebesar

$436,30 \text{ m}^2/\text{g}$ . Ketika suhu aktivasi dinaikkan menjadi  $550^\circ C$ , luas permukaan pori menurun menjadi  $265,20 \text{ m}^2/\text{g}$ . Ketika suhu aktivasi ditingkatkan menjadi  $700^\circ C$ , luas permukaan pori yang dihasilkan meningkat menjadi  $285,20 \text{ m}^2/\text{g}$ . Disini terlihat bahwa suhu aktivasi  $400^\circ C$  memberikan luas permukaan pori yang paling tinggi karena pada dasarnya aktivasi secara kimia dilakukan pada suhu rendah.

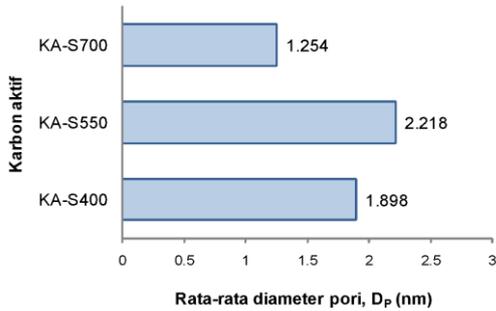


Gambar 1. Luas permukaan pori karbon aktif



Gambar 2. Volume pori karbon aktif

Pada gambar 2 ditunjukkan pengaruh suhu aktivasi terhadap volume pori dari karbon aktif. Semakin tinggi suhu aktivasi menyebabkan berkurangnya volume pori dari karbon aktif. Volume pori tertinggi dicapai pada karbon aktif yang diaktivasi ada suhu  $400^\circ C$  yaitu sebesar  $0,445 \text{ cc}/\text{g}$ . Hal ini kemungkinan terjadi karena aktivasi secara kimia lebih optimal dilakukan pada suhu yang relatif rendah. Pada suhu  $400^\circ C$ , sisa zat kimia yang masih tersisa di permukaan pori sebagian besar telah terbawa keluar bersama dengan nitrogen ketika dipanaskan. Ketika suhu dinaikkan lagi karbon mengalami pemanasan lanjut yang cenderung menghasilkan abu yang kembali menutupi sebagian permukaan pori. Akibatnya luas permukaan semakin kecil dan volume pori juga semakin kecil.

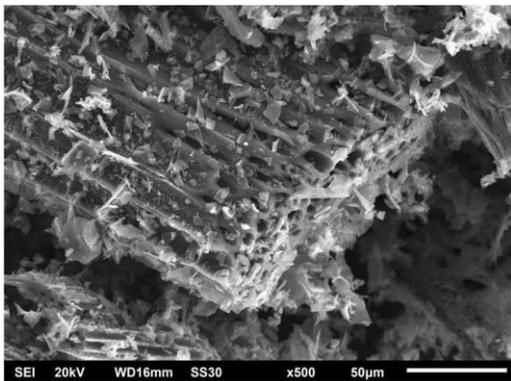


Gambar 3. Diameter pori rata rata karbon aktif

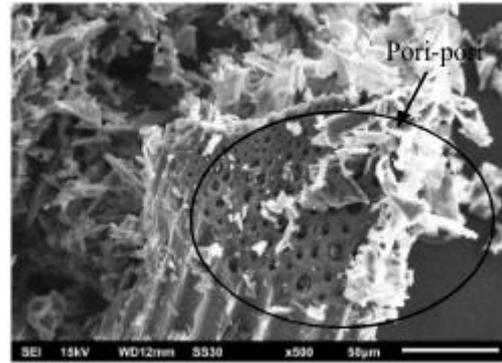
Pada gambar 3 ditunjukkan rata-rata diameter pori dari karbon aktif. Peningkatan suhu aktivasi menghasilkan rata-rata diameter pori yang fluktuatif. Menurut IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*), pori diklasifikasikan menjadi tiga; mikropori yaitu pori yang memiliki diameter kurang dari 1 nm; mesopori yaitu pori yang memiliki rentang diameter pori dari 2 nm sampai 50 nm; dan makropori yaitu pori dengan ukuran diameter di atas 50 nm [24]. Berdasarkan hal ini, maka karbon aktif yang diaktivasi pada suhu 400 dan 700°C memiliki pori-pori yang sebagian besar adalah micropori, hal ini ditunjukkan dengan rata-rata yang dimilikinya adalah berukuran mikro yaitu sebesar 1,898 nm dan 1,254 nm masing-masing untuk karbon aktif KA-S400 dan KA-S700. Sedangkan KA-S550 memiliki pori yang sebagian besar cenderung berukuran mesopori karena karbon aktif ini memiliki rata-rata diameter pori berukuran mesopori yaitu sebesar 2,218 nm.

#### Morfologi permukaan karbon aktif

Morfologi permukaan dari arang ditunjukkan pada gambar 4 dan morfologi karbon aktif dengan suhu aktivasi berbeda ditunjukkan pada gambar 4, 5 dan 6.

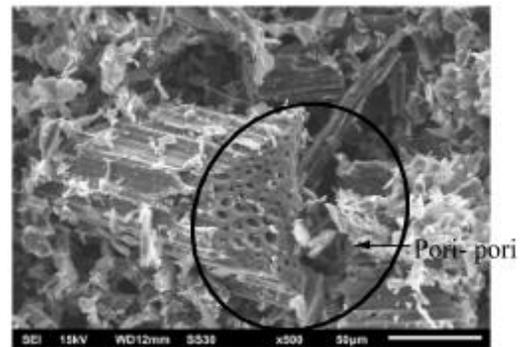


Gambar 4. Morfologi permukaan arang

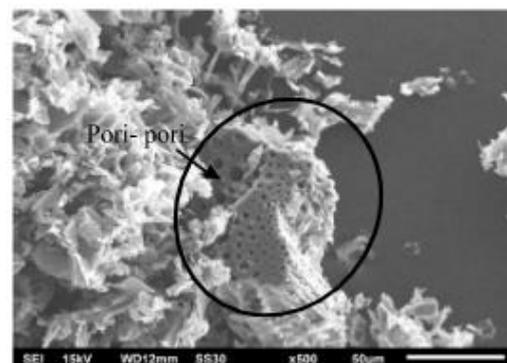


Gambar 5. Morfologi permukaan KA-S400

Dari gambar 4 sampai gambar 7 dapat dilihat bahwa morfologi arang menunjukkan permukaan dengan pori yang masih sangat sedikit dan belum begitu jelas. Sedangkan setelah diaktivasi (seperti ditunjukkan pada gambar 5,6 dan 7), pori-pori pada morfologi permukaan semakin jelas terlihat dan dengan jumlah yang semakin banyak. Hal ini menunjukkan bahwa aktivasi yang diberikan memberikan efek yang signifikan terhadap keaktifan dari karbon yang ditunjukkan dengan bertambah banyaknya struktur pori yang terbentuk.



Gambar 6. Morfologi permukaan KA-S550



Gambar 7. Morfologi permukaan KA-S550

#### KESIMPULAN

Dari karakteristik yang dihasilkan menunjukkan bahwa karbon aktif yang diaktivasi dengan suhu aktivasi 400°C menghasilkan karbon aktif dengan kualitas terbaik karena menghasilkan luas permukaan pori dan volume pori tertinggi.

Disamping itu, pemanasan pada suhu yang lebih rendah secara ekonomis lebih menguntungkan karena dapat menghemat waktu dan energy listrik.

#### SARAN

Perlu kiranya dilakukan pengujian dengan suhu aktivasi yang lebih kecil dari 400°C, sehingga dapat diketahui apakah suhu di bawah 400°C memberikan hasil yang lebih baik atau tidak. Saran yang dapat diajukan agar percobaan berikutnya dapat lebih baik dan dapat menyempurnakan percobaan yang telah dilakukan dalam penelitian ini, yaitu: perlu adanya pengembangan penelitian khususnya untuk variasi feed rate seperti yang telah dilakukan oleh Wijayanto dan Anelis [10] dan juga memvariasi geometri tool [11] agar didapatkan hasil pengelasan yang optimal. Panjang pin pada shoulder sebaiknya lebih panjang akan tetapi tidak melebihi dari tebal logam induk agar didapatkan penetrasi yang lebih dalam sehingga dapat dihasilkan hasil pengelasan yang lebih baik. Serta pengaturan holding time dianjurkan agar didapatkan perambatan panas yang merata.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kemenristek Dikti melalui LPPM (Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat) Universitas Udayana yang mendanai penelitian ini melalui skim Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi (PDUPT – No : 492.13 /UN14.4.4.A/ LT/2019)

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Keller, J.U and Reiner, S. 2005. *Gas Adsorption Equilibria; Experimental methods and Adsorptive Isotherms*. Boston : Springer Science and Businis Media, Inc.
- [2] Patil, B.S. and Kulkarni, K.S. 2012. *Development of High Surface Area Activated Carbon from Waste Material*. International Journal of Advanced Engineering and Studies (IJAERS) 1, 109-113.
- [3] Mochida M, Fotoohi B, Amamo Y, and Mercier I. 2012 Cadmium (II) and lead (II) adsorption onto hetero-atom functional mesopores silica and activated carbon. Applied Surface Scieance 258, 7389-7394.
- [4] Saleh, T. A. 2017. *Simultaneous adsorptive desulfurization of diesel fuel over bimetallic nanoparticles loaded on activated carbon*, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.208>
- [5] Esteves, I. A. A. C, Lopes, M. S. S, Nunes, P. M. C, and Mota, J. E. P. B. 2008. *Adsorption of natural gas and biogas components on activated carbon*. Separation and Purification Technology, 62, 281–296.
- [6] Inomata, K., Kanazawa, K., Urabe, Y., Hosono, H. and Araki, T. 2001. *Natural gas storage in activated carbon pellets without a binder*, Carbon 40, 87-93.
- [7] Diana, C. C. A, Araujo, J. C. S., Bastos-Neto, M., Torres, A. E. B., Emerson, F. J., and Celio, L. C. 2007. *Microporous activated carbon prepared from coconut shells using chemical activation with zinc chloride*. Microporous and Mesoporous Materials 100, 361-364.
- [8] Sreńscek–Nazzal, J., Weronika, K., Beata, M., and Zvi Ckoren. 2013. *Production, characterization and methane storage potential of KOH-activated carbon from sugarcane molasses*. Industrial Crops and Products 47, 153-159.
- [9] Arami - Niya, A., Wan Mohd, A. W. D., Farouq, S. M. 2011. *Comparative study of the textural characteristics of oil palm shell activated carbon produced by chemical and physical activation for methane adsorption*. Chemical Engineering Research and Design 89, 657-664.
- [10] Ferrera-Lorenzo, N., Fuente, E., Suarez-Ruiz, I., and Ruiz, B. 2014. *Sustainable activated carbons of macroalgae waste from the agar-agar industry. Prospects as adsorbent for gas storage at high pressures*. Chemical Engineering Journal 250, 128-138.
- [11] Ademiluyi, F. T, Braide, O. 2012. *Effectiveness of nigerian bamboo activated with different activating agents on the adsorption of btx*. J. Appl. Sci. Environ. Manage 16, 267–273.
- [12] Akpa, N. 2014. *Adsorption of benzene on activated carbon from agricultural waste materials*. Research Journal of Chemical Sciences 4, 30-34.
- [13] Thitiwan, N., Sitthiphong, P., and Mali, H. 2013. *Adsorptive desulfurizer of dibenzothiophene by sewage sludge-derived activated carbon*. Chemical Engineering Journal 228, 263-271.
- [14] Petrova, B., Budinova, T., Tsyntsarski, B., Kochcodan, V., Shkavro, Z., and Petrov, N. 2010. *Removal of aromatic hydrocarbon from water by activated carbon from apricot stones*. Chemical Engineering Journal 165, 258-264.
- [15] Agueda, V. I., Crittenden, B. D., Delgado, J. A, and Tennison, S. R. 2011 *Effect of channel geometry, degree of activation, relative humidity and temperature on the performance of binderless activated carbon monoliths in the removal of dichloromethane from air*. Sep. Purif. Technol 78, 154-163.
- [16] Xiao-Li, Z., Pei-Yu, W., Chao, P., Juan, Y., and Xing-Bin, Y. 2014. *Activated carbon produced from paulownias sawdust for high-performance CO<sub>2</sub> sorbents*. Chinese Chemical Letters 25, 929-932.
- [17] Muthanna, J. A. and Samar, K. T. 2014. *Optimization of microwave preparation conditions for activated carbon from albizia lebbek seed pods for methylene blue dye adsorption*. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 105, 199-208.

- [18]Cao, Wenxin, and Fuqian, Y. 2018. *Supercapacitors from high fructose corn syrup-derived activated carbons*. *Materials Today Energy* 9, 406–415. <https://doi.org/10.1016/j.mtener.2018.07.002>
- [19]Huang, Tianfu, Zehai, Q., Dewu, W., and Zhibiao, H. 2015. *Bamboo-based activated carbon @ MnO<sub>2</sub> nanocomposites for flexible high-performance supercapacitor electrode materials*. *International Journal of Electrochemical Science* 10 (8), 6312–6323.
- [20]Zhang, Y., Zheng, J., Qu, X., Chen., H. 2007. *Effect of granular activated carbon on degradation of methyl orange when applied in combination with high-voltage pulse discharge*. *Journal of Colloid and Interface Science* 316, 523-530.
- [21]Nor, N. M., Chung, L. L., Teong, L. K., and Mohamed, A. R. 2013. *Synthesis of activated carbon from lignocellulosic biomass and its applications in air pollution control : a review*. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 1, 658–666.
- [22]Daud, W. M. A. W., Ali, S. S. W., and Sulaiman, M. Z. 2000. *The effects of carbonization temperature on pore development in palm-shell-based activated carbon*. *Carbon* 38, 1925–1932
- [23]Li, X. B., Shupe, F. T., Peter, G. F., Hse, C. Y., and Eberhardt, T. L. 2007. *Chemical changes with maturation of the bamboo species phyllostachys pubescens*. *Journal of Tropical Forest Science* 19, 6-12.
- [24] M. Thommes, K. Kaneko, A.V. Neimark, J.P. Olivier, F. Rodriguez-Reinoso, J. Rouquerol, K.S.W. Sing. 2015. *Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report)*, *Pure Appl. Chem.* 87, (9–10) 1051–1069 <https://doi.org/10.1515/pac-2014->

## ANALISA PERBANDINGAN HASIL UJI UNJUK KERJA MESIN *HEAVY DUTY* DENGAN BAHAN BAKAR EURO 4 DAN CAMPURAN EURO 4 DENGAN 30% BIODIESEL

Mokhtar<sup>1\*</sup>, Ade Kurniawan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Perekayasa di Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi

Email: \*mokhtar@bppt.go.id

### ABSTRAK

Pemerintah Indonesia akan mewajibkan pemakaian biodiesel dengan rasio 30% (B30) pada Tahun 2020 untuk semua jenis kendaraan diesel. Studi ini mengkaji penggunaan bahan bakar dengan kualitas standar Euro 4 dicampur dengan 30 % Biodiesel (B30) dengan parameter power dan torsi terhadap aplikasi kendaraan truk. Hasil pengujian untuk power dan torsi akan memberikan informasi berharga untuk industri kendaraan terkait optimasi parameter terkait kinerja yang diperlukan untuk pemakaian bahan bakar biodiesel rasio tinggi. Dari hasil pengujian unjuk kerja mesin *Heavy Duty* dengan pemakaian biodiesel 30% (B30) didapatkan hasil penurunan power sekitar 3% dan torsi sebesar 3,5% dibanding dengan bahan bakar dengan solar kualitas Euro 4

Kata Kunci: panas bumi, eksplorasi, Blawan-Ijen

### PENDAHULUAN

Pertumbuhan kendaraan bermotor yang sudah mencapai di atas kisaran 1 juta unit pertahun berdampak positive terhadap naiknya pertumbuhan ekonomi dari sektor industri otomotive. Pada sisilainnya, ada dua isu besar terkait dengan pertumbuhan kendaraan yang tinggi tersebut yaitu Polusi udara dan Energi. Menurunnya kualitas udara akibat emisi yang ditimbulkan kendaraan bermotor selain berdampak langsung terhadap kesehatan juga berakibat pada perekonomian secara keseluruhan. Hasil kajian dari Kementerian Lingkungan Hidup (sekarang Kementerian Kehutanan dan Lingkungan Hidup) Tahun 2010 menunjukkan bahwa faktor naiknya polusi udara telah menimbulkan beragam penyakit seperti asma, bronkopneumonia dan penyakit paru kronis yang pada ujungnya dapat mengakibatkan menurunnya produktivitas, rendahnya kualitas hidup dan membebani pertumbuhan ekonomi nasional. Untuk sektor energi, konsumsi bahan bakar yang naik berlipat telah membuat produksi minyak fosil di Indonesia tidak sebanding dengan permintaan pasar sehingga Indonesia telah menjadi negara pengimpor minyak bumi. Untuk mengatasi krisis lingkungan dan energi pada sektor transportasi, pemerintah Indonesia melalui Kementerian Kehutanan dan Lingkungan Hidup telah menetapkan standar emisi gas buang Euro 2 untuk kendaraan bermotor. Dengan memperhatikan kondisi regional kawasan ASEAN, isu *fuel economy* dan penekanan emisi

dari kendaraan bermotor maka Kementerian Kehutanan dan Lingkungan Hidup akan meningkatkan level regulasinya dari Euro 2 menjadi Euro 4. Untuk mengatasi ketergantungan terhadap impor minyak bumi dan meningkatkan energy security, pemerintah Indonesia melalui Kementerian ESDM telah menetapkan mandatori pemakaian biodiesel dengan campuran B20 mulai Tahun 2016 dan akan meningkat menjadi B30 pada tahun 2020. Secara teori supaya kedua kebijakan tersebut dapat berjalan secara optimum maka sinkronisasi kedua regulasi tersebut harus ada. Teknologi kendaraan Euro 4 yang ramah lingkungan dengan efisiensi energi yang tinggi mensyaratkan kualitas bahan bakar yang tinggi harus dipenuhi oleh spesifikasi B20. Pada Tahun 2014 sampai 2015, Kementerian ESDM bersama seluruh stake holder terkait biodiesel telah melakukan kajian pemakaian biodiesel B20 pada kendaraan diesel modern di mana hasilnya menunjukkan adanya sedikit penurunan emisi gas buang CO, HC dan partikulat walaupun power turun dengan kisaran 2-3%. Namun demikian, emisi kendaraan jenis heavy duty (truck, bus) belum terjawab dengan kajian yang telah dilakukan oleh Kementerian ESDM. Pada pengujian emisi kendaraan bermotor kecil dan sedang mode operasinya adalah mengikuti cycle yang memungkinkan untuk merunning kendaraan tidak pada posisi power optimum sehingga efek penurunan power tidak berpengaruh significant terhadap hasil emisi gas buang. Tetapi untuk

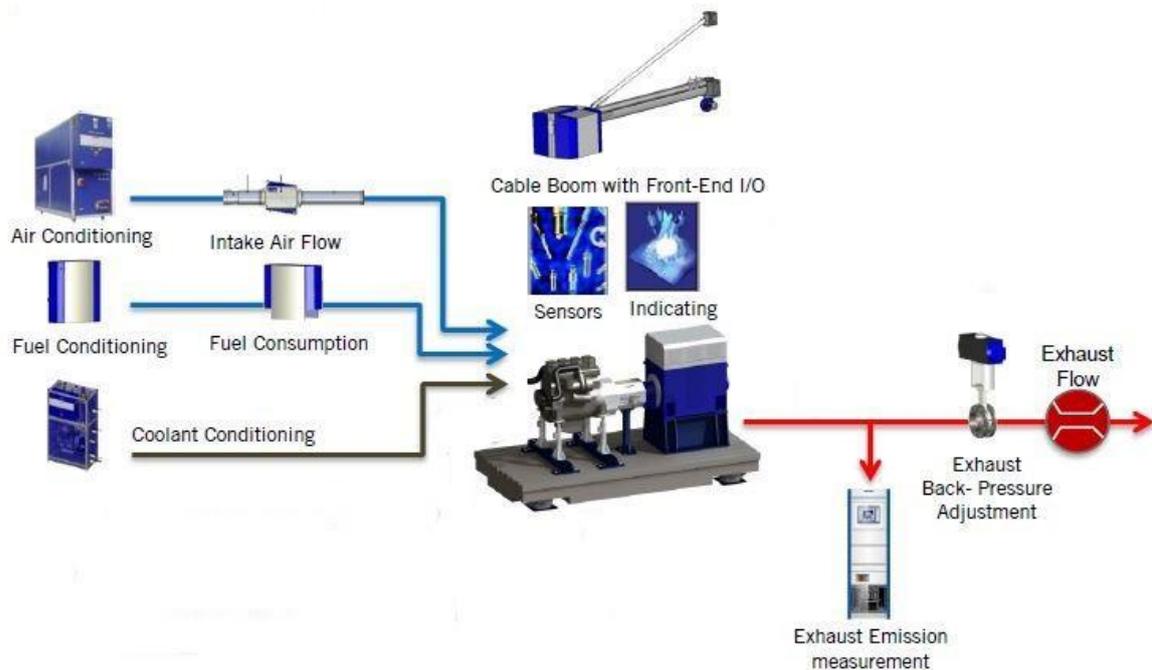
pengujian kendaraan heavy duty, metodenya mensyaratkan pengukuran pada power/torsi maksimum ataupun 75% dari power maksimumnya untuk beberapa mode. Sehingga isu dari penurunan heating value biodiesel menjadi penting dalam menentukan strategi pembakaran guna menghasilkan emisi yang rendah dengan power yang optimum dan konsumsi bahan bakar yang minimum. Oleh karena itu, perlu dilakukan kajian lanjutan untuk melihat pengaruh pemakaian B30 pada kendaraan heavy duty yang diuji dengan menggunakan standard uji ECE R85. Dengan adanya kajian dan pengujian ini, diharapkan dapat melengkapi data dari kajian sebelumnya yang dilakukan Kementerian ESDM terkait pengaruh pemakaian B30 pada kendaraan heavy duty yang diuji dengan standar uji ECE R85.

## METODOLOGI PENELITIAN

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan mesin dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 1. Spesifikasi mesin & Kondisi Pengujian

Kapasitas Mesin	7500 cc
Jumlah silinder	6 Silinder
Power	190 kW @2500 rpm
Torque	745 Nm @ 1500 rpm



Gambar 1. Alat Uji Unjuk kerja

Engine Test Cell 8 memiliki beberapa perlengkapan yang digunakan selama test sebagai berikut :

- AC dynamometer dengan torque flange yang terpasang adalah alat utama yang mengukur torsi dan kecepatan. Spesifikasi detail diperlihatkan dalam table 2
- Perlengkapan Intake air flow digunakan untuk mengukur aliran udara masuk keruang bakar.
- Fuel conditioning and fuel consumption adalah perlengkapan untuk mengukur aliran dan mengontrol suhu bahan bakar
- Coolant conditioning adalah perlengkapan untuk mengkondisikan suhu coolant dari mesin, alat ini dapat mengatur suhu coolant sesuai dengan nilai yang diinginkan.
- Cable boom dengan front end I/O adalah interface dari sensor untuk mengukur voltages, currents, temperatures, resistances, dan lainnya.
- Exhaust back pressure adjustment adalah perlengkapan untuk mengatur tekanan back pressure pada pipa exhaust yang melalui butterfly valve.
- Exhaust emission measurement perlengkapan untuk mengukur emisimesin. Alat emisi yang digunakan adalah AVL smart sampling dan AVL emission.

Tabel. 2 Spesifikasi Dinamometer

Nominal Torque	4950 Nm
Nominal Power	750 kW
Maximum Speed	4000 Rpm
Performance Motor Operation	10 % less than in generator operation
Overload capability	20 %
Speed Encoder	ROD 436 2048

Pengujian unjuk kerja mesin mengacu pada standard Uji ECE R85. Standard uji ini mengatur pengukuran Net power dimana perlengkapan dasar yang harus dipenuhi adalah :

- Test Cell Steady state dengan kelengkapan
- sensor dan kondisi yang baik
- Mesin uji dengan system intake yang spesifik dan exhaust
- Aksesoris tambahan yang terpasang sesuai dengan definisi Net power
- Kondisi Udara masuk ruang bakar dengan batasan tertentu
- Perhitungan net power
- Bahan bakar referensi

Sensor dan tingkat akurasi pengukuran yang dibutuhkan pada Pengukuran Net Power berdasarkan ECE R 85

#### Kondisi Ambient pengujian

Kondisi yang diharuskan :

Temperature T° : 298 K

dry pressure PS0 : 99 kPa

Batasan :

- temperatur Intake air (PI Engines): 288 K = T = 308 K
- Temperatur Intake air (CI Engines): 283 K
- = T = 313 K
- Tekanan Dry intake air: 80 kPa = pS = 110 kPa

Metode Perhitungan koreksi Power Mesin

- Measured Power

$$P_{measured} = \frac{\pi}{30000} \cdot n_{measured} \cdot Md_{measured}$$

- Auxiliary Correction

$$P_{Auxiliaries} = P_{missing} - P_{fitted}$$

Measured Net Power

$$P_{measured,net} = P_{measured} - P_{Auxiliaries}$$

Corrected Net Power

$$P_{measured,net} = P_{measured} - P_{Auxiliaries}$$

#### Faktor koreksi perhitungan Power

PI Engines

$$f_{PowerCorrection} = \left(\frac{99}{p_s}\right)^{1.2} \cdot \left(\frac{T}{298}\right)^{0.6}$$

CI Engines

$$f_{PowerCorrection} = f_a^{f_m}$$

$$f_m = 0.036 \cdot \frac{q}{r} - 1.14$$

CI Engines (NA & SC)

$$f_a = \left(\frac{99}{p_s}\right) \cdot \left(\frac{T}{298}\right)^{0.7}$$

CI Engines (NA & SC)

$$f_a = \left(\frac{99}{p_s}\right)^{0.7} \cdot \left(\frac{T}{298}\right)^{1.5}$$

Tabel 3. Toleransi dan akurasi alat ukur

Quantity	Accuracy	Remark
Putaran mesin	± 0.5% pt	
Torsi mesin	± 1% pt (± 2% pt)	Toleransi lebih besar untuk jarak pengukuran yang lebih kecil
Intake air temperature	± 2 K max.	15 cm upstream engine inlet (air cleaner)
Konsumsi bahan bakar	± 1% pt	
Temperatur Coolant	Not specified	Temperature spesifik di tentukan oleh manufactur
Temperatur Oil	Not specified	Temperature spesifik di tentukan oleh manufactur
Temperatur bahan bakar	Not specified	Temperature spesifik di tentukan oleh manufactur
Tekanan Barometric	± 100 Pa	
Tekanan pada intake duct	± 50 Pa	
Tekanan pada exhaust duct	± 200 Pa	

Pengukuran uji unjuk kerja dilakukan pada saat kondisi pengujian sudah stabil dengan syarat-syarat sebagai berikut :

- Jumlah titik kecepatan yang cukup termasuk putaran paling rendah, putaran paling tinggi, putaran pada power maksimum dan putaran pada torsi maksimum
- Putaran, torsi dan temperature harus konstan 1 menit sebelum pengukuran dimulai
- Toleransi kecepatan selama pengukuran :  $\pm 1\%$  or  $\pm 10$  1/min mana yang lebih baik
- 2 pengukuran rata-rata, max.  $\pm 2\%$  perbedaan pada torsi

Kriteria keterterimaan :

Deviasi power untuk menentukan maksimum net power :  $\pm 2\%$

- Deviasi power pada setiap beban max.  $\pm 4\%$
- Deviasi putaran mesin: max.  $\pm 1.5\%$

### Bahan Bakar

Pada kajian ini bahan bakar yang akan digunakan adalah solar Euro 4 yang akan dijadikan sebagai base fuel di impor dari Singapura dan B30 solar Euro 4 yang merupakan campuran 30% Biodiesel (FAME) dengan 70% Solar Euro 4. Total bahan bakar yang akan di uji adalah 2 jenis dengan rincian sebagai berikut:

- Solar Euro IV

- B30 Euro IV (70% Solar Euro IV + 30% FAME)

Untuk mengetahui pengaruh dari properties bahan bakar terhadap hasil uji maka dilakukan pengujian nilai kalor dari bahan bakar yang digunakan.

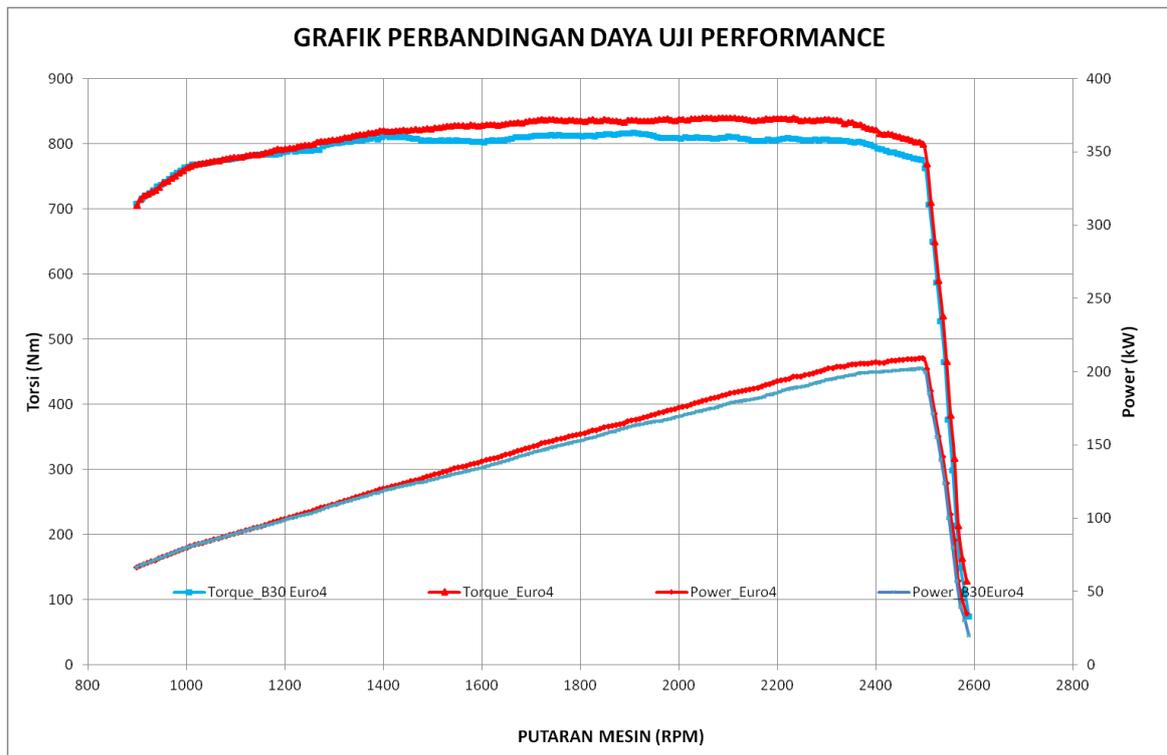
Nilai kalor adalah jumlah energi yang dilepaskan ketika suatu bahan bakar dibakar secara sempurna dalam suatu proses aliran tunak (steady).

Pengukuran nilai kalor Menggunakan alat Sundry SDACM 4000 Bomb Calorimeter sesuai dengan standar ASTM 240 Standard Test Method for Heat of Combustion of Liquid Hydrocarbon Fuels by Bomb Calorimeter.

- Hasil uji nilai kalor dari beberapa bahan bakar yang akan diuji unjuk kerja terhadap mesin.

Tabel 4. Nilai Kalor Bahan Bakar

No	Bahan Bakar	Nilai Kalor (J/gr)
1	Euro 4	45.566,72
2	B30 Euro 4	43.843,1
3	Fame	39.710,82



Gambar 2. Grafik Hasil Uji Unjuk Kerja

Hasil pengujian unjuk kerja dengan beberapa variasi bahan bakar yang dicampur dengan biodiesel 30% menunjukkan bahwa bahan bakar Euro 4 memiliki nilai power maksimal yang paling besar yaitu 209,36 kW pada putaran 2500

RPM. Penambahan FAME sebesar 30% pada solar Euro 4 menurunkan nilai power maksimal menjadi sebesar 202,32 kW atau turun sebesar 3%. Nilai torsi maksimum uji unjuk kerja bahan bakar Euro 4 sebesar 839,8 pada putaran 2200 RPM.

Sedangkan torsi maksimum B30 Euro 4 sebesar 806,23 Nm. Nilai power maksimal bahan bakar yang dicampur dengan 30% Fame rata-rata mengalami penurunan 3%. Kalau melihat dari grafik diatas Penurunan ini hanya terjadi pada power maksimal atau diputaran atas. Pada putaran rendah power terlihat berhimpit atau hampir tidak ada perbedaan, artinya pengaruh penggunaan campuran biodiesel FAME sebesar 30% hanya terjadi pada power maksimum.

#### KESIMPULAN

- Nilai power maksimal mesin pada uji unjuk kerja bahan bakar solar Euro 4 dengan penambahan biodiesel sebesar 30% lebih kecil sekiranya 3% dibanding dengan solar euro 4 murni.
- Penambahan biodiesel sebesar 30% pada bahan bakar Euro 4 mengurangi nilai kalori dari bahan bakar yang menjadi salah satu penyebab menurunnya nilai power maksimal dari mesin.
- Penurunan power hanya terjadi pada daerah power tinggi atau diatas putaran 2000 rpm sedangkan pada putaran rendah power cenderung sama.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] ECE R 85 (2010): “*uniform provisions concerning the approval of internal combustion engines or electric drive trains intended for the propulsion of motor vehicles of categories m and n with regard to the measurement of the net power and the maximum 30 minutes power of electric drive trains*”.
- [2] Kementrian Lingkungan Hidup, *Naskah Akademik Euro 4*, 2014
- [3] Kementrian ESDM-Direktorat General EBTKE, *Laporan kajian dan Uji Pemanfaatan Biodiesel 20%*, 2015
- [4] Ade Kurniawan, Ma’ruf dan Ihwan Haryono, *Performance Comparison of 9-Lt Diesel Engine with Three Types of Fuel: Biosolar, Pertadex and B30*, buku prosiding SNTTM 2017
- [5] Pi-qiang Tan, Shi-yan Wang, Zhi-yuan Hu, Di-ming Lou, *Durability of V2O5-WO3/TiO2 selective catalytic reduction catalysts for heavy-duty diesel engines using B20 blendfuel*, Energy 179 (2019) 383e391
- [6] Michael D. Feist, Imad A. Khalek, PhD, *1,000 hours of durability evaluation of a prototype 2007 diesel engine using b20 biodiesel fuel*

**ANALISA PERFORMA DAN DURABILITY THERMOELEKTRIK COOLER  
TYPE TEC1-12703, TEC1-12705, TEC1-12706, TEC1-12710 DAN  
THERMOELEKTRIK GENERATOR TYPE SP1848 27145 SA**

Azamataufiq Budiprasojo<sup>1\*</sup>, Fahrur Rosy<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Politeknik Negeri Jember Jl. Mastrip 164 Jember 68124

Email: \*azamataufiq@polije.ac.id

**ABSTRAK**

Pada tahun 2030 mendatang diperkirakan kebutuhan energi akan bertambah sekitar 40 persen dari kebutuhan saat ini. Untuk memenuhi kebutuhan energi yang semakin besar maka dapat di atasi dengan cara seperti pemanfaatan energi yang ramah lingkungan. Yang salah satunya menggunakan teknologi termoelektrik. Teknologi termoelektrik dapat bekerja dengan mengkonversi energi panas menjadi arus listrik secara langsung (generator termoelektrik), atau sebaliknya, dari arus listrik menjadi energi dingin (pendingin termoelektrik). Ada beberapa macam termoelektrik seperti tipe TEC1-12703, TEC112705, TEC1-12706, TEC1-12710, TEC112709, TEC112708, TEC1-12704. Dari 7 tipe TEC tersebut 4 diantaranya TEC1-12703, TEC1-12705, TEC1-12706, TEC1-12710. Karena alasan tersebut peneliti ingin mengetahui performa dan durability TEC yang umum pada pasaran. Selain bahwasanya spesifikasi yang terdapat pada termoelektrik cooler dan termoelektrik generator secara umum memiliki penyimpangan dalam segi aktual dan spesifikasi. Setiap perbedaan temperature antara hot side dan cold side menghasilkan kenaikan tegangan. Lama pengaruh pemakaian termoelektrik terhadap durability menghasilkan voltase tertinggi dan bervariasi. Pada setiap peltier memiliki berbagai tegangan maksimal paling tinggi yaitu TEGSP184827415SA dengan temperature 75° dan tegangan tertinggi 3.98v dan paling rendah TEC1-12703 dengan selisih temperatur 65° dan tegangan teringgi 3.78.

Kata Kunci : Energi, termoelektrik, performa, *durability*, *temperature*, dan tegangan

**PENDAHULUAN**

Pada tahun 2030 mendatang diperkirakan kebutuhan energi akan bertambah sekitar 40 persen dari kebutuhan saat ini. Untuk memenuhi kebutuhan energi yang semakin besar maka dapatdi atasi dengan menggunakan berbagai macam cara seperti pemanfaatan energi yang ramah lingkungan Yang salahsatunya menggunakan teknologi termoelektrik. Teknologi ini merupakan sumber alternatif dalam menjawab kebutuhan energi, teknologi ini juga sangat efisien, tahan lama, dan menghasilkan energi dalam skala besar maupun kecil.Teknologi termoelektrik dapat bekerja dengan mengkonversi energi panas menjadi arus listrik secara langsung (generator termoelektrik), atau sebaliknya, dari arus listrik menjadi energi dingin (pendingin termoelektrik). Untuk menghasilkan arus listrik, termoelektrik cukup diletakkan sedemikian rupa dalam rangkaian yang menghubungkan sumber panas dan dingin. Dari rangkaian itu akan

dihasilkan sejumlah listrik sesuai dengan jenis bahan yang dipakai. Pada penelitian Salim,dkk.2018 yang membahas Studi Eksperimental Karakterisasi Elemen Termoelektrik Peltier Tipe TEC dengan hasil penelitian pada Pemanasan elemen termoelektrik antara temperatur 34,5°C di satu sisi serta 135°C disisi lainnya. Diperoleh daya sebesar 0.008501W, tegangan sebesar 1.12V,serta arus sebesar 0.00759A, dan 206°C, dimana besaran tegangan yang didapat 4,799 V Disimpulkan elemen termoelektrik tipe TECyang memiliki fungsi sebagai pendingin secara umum, dapat digunakan untuk pembangkit listrik tenaga panas secara langsung. Sedangkan nilai daya yang mampu diberikan oleh thermo elektrik generator, kemampuan daya yang dihasilkan berkisar 0.00043 watt, 1.29 volt, 0.00032 ampere Berdasarkan penelitian terdahulu peneliti ingin melakukan penelitian tentang peltier termoelektrik cooler dan thermo elektrik generator berbagai macam tipe untuk mengetahui performa dan durability dengan

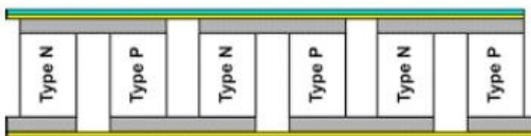
perbedaan jika 2 kedua sisi diberi perbedaan temperatur. Dan mengetahui nilai daya listrik yang dapat dihasilkan. Dimana performa adalah kemampuan alat untuk menghasilkan indikator tertentu seperti seberapa banyak energy listrik yang di hasilkan. Sedangkan durability bisa juga disebut umur pakai dari suatu barang atau juga kemampuan seberapa lama barang tersebut masih dapat digunakan. Ada beberapa macam thermoelektrik seperti tipe TEC1-12703, TEC1-12705, TEC1-12706, TEC112710, TEC1-12709, TEC1-12708, TEC1-12704. Dari 7 tipe TEC tersebut 4 diantaranya TEC112703, TEC1-12705, TEC1-12706, TEC1-12710 sudah umum dijual di pasaran. Karena alasan tersebut peneliti ingin mengetahui performa dan durability TEC yang umum pada pasaran. Selain bahwasanya spesifikasi yang terdapat pada thermoelektrik cooler dan thermoelektrik generator secara umum memiliki penyimpangan dalam segi aktual dan spesifikasi. Dimana yang di maksud dengan performa TEC dan TEG yaitu seberapa baik alat uji dalam menghasilkan tegangan. Sedangkan durability ialah daya tahan TEC dan TEG dalam menerima perbedaan suhu.



Gambar 1. Thermoelektrik

### Pengertian TEC dan TEG

TEC disusun dari untaian-untaian thermo couple yang banyak dan terangkai secara seri. Kesemuanya di-packaging di dalam satu wadah fisik persegi yang kompak.



Gambar 2. Termoelektrik cooling TEC

Ukuran fisik TEC bervariasi, namun standar yang paling umum adalah ukuran 4 x 4cm dengan ketebalan 4mm. Pada salah satu sisi badan TEC terdapat tulisan inisial atau tipe-nya.

Banyak produsen TEC menandakan bagian sisi yang bertulisan sebagai sisi panas, sedangkan bagian sisi yang polos adalah bagian sisi dingin.. (Salimdkk, 2018) Adapun tulisan yang terdapat pada sisi badan TEC mengandung kode-kode yang bermakna demikian Dua huruf pertama, yaitu TE, maksudnya adalah “Thermo-Electric” Huruf ketiga menerangkan ukuran TEC. C = standar, S= small/kecil.



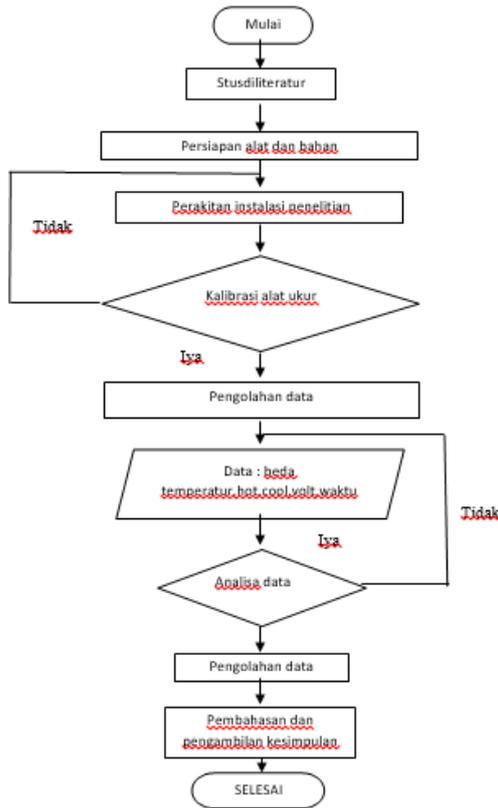
Gambar 3. Instalasi

### METODOLOGI PENELITIAN

Adapun langkah-langkah yang harus di lakukan pada perancangan komponen satu dengan yang lain yaitu :

1. Siapkan colokan stop kontak yang sudah dilengkapi dengan kabel (+) dan (-)
2. Dari kabel stop kontak menuju ke power supply yang sudah ada lambang L dan N (AC)
3. keluaran dari power supply berlambang -V dan +V diteruskan ke fin dengan menggunakan kabel yang terdapat pada fin pendingin
4. pada sisi atas dan sisi bawah peltier beri thermal paste
5. letakan peltier di sisi bawah fin yang berbahan aluminium
6. Siapkan hot plate sebagai pemanas dan letakkan peltier diatas hot plate yang sudah dirakit bersama fin berbahan aluminium
7. Setelah komponen tersebut sudah menyatu siapkan multimeter
8. Pada kabel keluaran peltier yang berwarna hitam dan merah hubungkan ke (+) merah dan (-) negatif pada multimeter untuk mengetahui arus keluaran yang di hasilkan oleh peltier
9. Pasang termometer digital data logger dengan menghubungkan ke dua sisi kabel ke bagian panas dan dingin
10. Hidupkan stop kontak yang terdapat pada power supply
11. Hidupkan termostart digital + heater dengan menghubungkan kabel ke stop kontak
12. Atur potensio dan termostart digital + heater sampai memenuhi target perbedaan temperatur yang diinginkan
13. Hubungkan kabel yang tersedia pada multimeter digital data logger ke laptop

14. Seting multimeter ke posisi Volt DC
15. Lihat arus yang keluar dari peltier dengan cara membaca pada lcd digital multimeter
16. Lihat perbedaan temperatur yang terdapat pada data loger
17. Ambil data pada setiap perbedaan suhu yang divariasikan
18. Ambil kesimpulan dari setiap hasil pada setiap type peltier



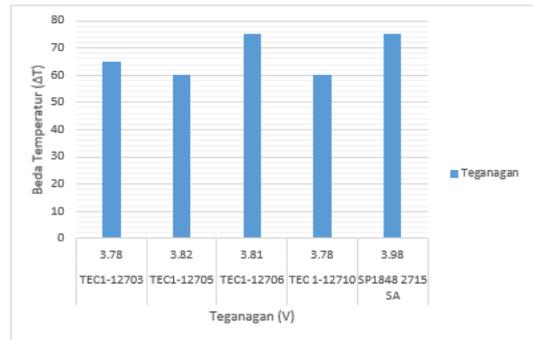
Gambar 4. diagram alur

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pengamatan performa dan durability yang di gunakan untuk mengetahui performa dan durability peltier hasil dari performa dan durability peltier yaitu dengan cara perlakuan panas dan dingin pada setiap sisi peltier dengan menemukan hasil selisih temperature 200 hingga titik tertinggi. Pada proses pengambilan data untuk menemukan tegangan dengan cara mengatur beda temeperatur yang dihasilkan oleh hot plate atau pemanas dan fin sebagai pendingin dengan cara pengambilan data menggunakan avo meter yang dihubungkan langsung ke dua kabel yang terdapat pada peltier. Sedangkan pada beda temperatur diambil dengan menggunakan data loger.

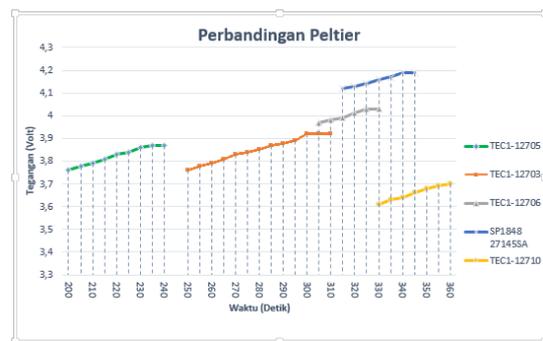
Berikut ini adalah grafik pengujian performa peltier thermoelektrik cooler type

TEC112703, TEC1-12705, TEC1-12706, TEC112710, dan thermo elektrik generator type SP18482745SA



Gambar 5. grafik pengujian performa peltier

Grafik di atas adalah grafik dari ke lima peltier diantaranya TEC1-12703, TEC112705, TEC1-12706, TEC12710 dan SP18482715 SA bahwa hasil pengujian peltier terbaik terdapat pada peltier tipe TEGSP18482715 SA dengan mencapai beda temperature 75° dan mencapai tegangan tertinggi 3.98.



Gambar 6. grafik pengujian durability

Grafik diatas adalah perbandingan dari kelima peltier diantaranya TEC1-12703, TEC1-12705, TEC1-12706, TEC1-12710 dan SP1848 2715SA bahwa hasil perbandingan peltier terbaik terdapat pada peltier TEG SP1848 2715SA dengan mengalami kenaikan hingga pada detik 345 dengan menghasilkan tegangan tertinggi 4.19V.

## KESIMPULAN

Dari penelitian pengujian performa dan durability yang saya lakukan dengan variasai perbedaan suhu panas dan suhu dingin dengan acuan mulai dari selisih tempertur 20° sampai dengan selisih temperatur 75° untuk pengujian performa dan durability maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Setiap perbedaan temperature antarhot side dan cold side menghasilkan kenaikan tegangan

2. Lama pengaruh pemakaian termoelektrik terhadap durability menghasilkan voltase tertinggi dan bervariasi
3. Pada setiap peltier memiliki berbagai tegangan maksimal diantaranya :
  - a. TEC1-12703 dengan selisih temperatur 65° dan tegangan tertinggi 3.92v
  - b. TEC1-12705 dengan selisih temperatur 60° dan tegangan tertinggi 3.87v
  - c. TEC1-12706 dengan selisih temperatur 75° dan tegangan tertinggi 4.03v
  - d. TEC1-12710 dengan selisih temperatur 60° dan tegangan tertinggi 370v
  - e. TEG SP1848 12710 SA dengan temperature 75° dan tegangan tertinggi 4.19v.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Muller.T. *Thermoelectric Cooler (Peltier Module)*. <https://www.electron.com> [18 November 2018]
- [2] Pri, Y. 2010. *Termoelektrik (Energi Panas menjadi Listrik)*, <https://yudhipri.wordpress.com> [10 Desember 2018]
- [3] Montecucco, A. 2014. *The effect of temperature mismatch on thermoelectric generators electrically connected in series and parallel*. Applied Energy, journal homepage: [www.elsevier.com/locate/apenergy](http://www.elsevier.com/locate/apenergy)
- [4] Abdurrohman, H, 2016. *"Efektifitas Modul Peltier Tec-12706 Sebagai Generator Dengan Memanfaatkan Energi Panas Dari Modul Peltier TEC-12706 "* Program Studi Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
- [5] Purwiyanti, S. 2017 *Aplikasi Efek Peltier Sebagai Kotak Pemanas dan Pendingin Berbasis Mikroprosesor Arduino Uno* Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, Bandar Lampung
- [6] Putra, N. 2009, *"POTENSI PEMBANGKIT DAYA TERMOELEKTRIK UNTUK KENDARAAN HIBRID"*, Laboratorium Perpindahan Kalor, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia
- [7] Salim, A.T. A., Idarto, B. 2018. *Studi Eksperimental Karakterisasi Elemen Termoelektrik Peltier Tipe TEC*. Journal of Electrical Electronic Control and Automotive Engineering. Mesin Otomotif Politeknik Negeri Madiun.
- [8] R, Umboh . 2014, *Perancangan Alat Pendinginan Portable Menggunakan Elemen Peltier*. Jurnal Jurusan Teknik Elektro. Universitas Sam Ratulangi
- [9] Sandi, 2016. *Tec Atau Pendingin Peltier*. [www.sandielektronik.com](http://www.sandielektronik.com) [18 November 2018]
- [10] Wikimedia, inc. 2018. *Generator termoelektrik*. <https://id.wikipedia.org> [10 Desember 2018]
- Putra, N. 2009. *Potensi Pembangkit Daya Termoelektrik Untuk Kendaraan Hibrid*. Jurnal Teknologi .Fakultas Teknik Universitas Indonesia [12 Desember 2018]

**PENGARUH SISTEM TEKNOLOGI MESIN PENGADUK GULA MERAH BERBASIS *CONTROL SYSTEM* DENGAN SISTEM PENGADUK MANUAL TERHADAP KAPASITAS DAN KUALITAS GULA MERAH DI DESA REJOAGUNG KAB. BANYUWANGI**

Chairul Anam<sup>1\*</sup>, Sandryas Alief Kurniasanti<sup>1</sup> dan Dian Ridlo Pamuji<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Staff Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Banyuwangi

Email: \*anam\_syifa@yahoo.com

**ABSTRAK**

Gula merah merupakan produk unggulan Banyuwangi khususnya Desa Rejoagung Kabupaten Banyuwangi, bahan bakunya nira (legen) hasil sadapan pohon kelapa. Proses pembuatannya dengan cara di panaskan dan di aduk dalam adonan sampai dengan kekentalan dan warna tertentu. Permintaan pasar tinggi dan industri pengolah gula merah masih menggunakan cara manual sehingga belum mampu memenuhinya. Mesin pengaduk gula merah berbasis control system berfungsi untuk membantu mempercepat dan meningkatkan kapasitas produksi proses pembuatan gula merah. Metode percobaan yang di lakukan adalah survey untuk mengidentifikasi permasalahan yang dihadapi oleh mitra dan melakukan studi literatur untuk mendapatkan solusi atas permasalahan mitra. langkah selanjutnya melakukan perancangan mesin sekaligus melakukan uji coba mesin. Nira/legen yang di aduk dengan cara manual dan menggunakan mesin pengaduk nanti akan di bandingkan berdasarkan waktu, hasil, dan kualitas produk. Hasil percobaan menunjukkan bahwa mesin pengaduk gula merah berbasis control system ini menghasilkan gula merah dengan kapasitas legen 10 liter dalam waktu 60 menit, sedangkan menggunakan pengaduk manual menghasilkan gula merah dengan kapasitas legen 10 liter dalam waktu 200 menit. Kualitas yang di hasilkan tidak terlalu signifikan perbedaanya antara cara manual dengan mesin pengaduk sehingga metode menggunakan teknologi mesin bisa di gunakan karna prosesnya cepat.

Kata Kunci: Gula Merah, Nira/legen, Mesin Pengaduk

**PENDAHULUAN**

Adsorben atau material penyerap adalah fasa padat Banyuwangi merupakan daerah pesisir yang memiliki perkebunan pohon kelapa yang sangat melimpah, dengan melimpahnya kelapa tersebut banyak para petani kelapa melakukan penderesan/penyadapan pohon kelapa untuk di ambil niranya sebagai bahan baku pembuatan gula merah. Kabupaten Banyuwangi yang memproduksi gula merah ada beberapa desa diantaranya Desa Rejoagung Kecamatan Srono. Desa Rejoagung selain memproduksi gula merah juga memproduksi aneka jajanan yang bahan dasarnya dari gula merah, dengan terkenalnya industri kecil dan aneka jajanan dari gula merah tersebut Desa Rejoagung di juluki destinasi wisata kuliner jajanan gula merah. Pada hari Senin 15 Oktober 2018 Bupati Banyuwangi Abdulloh Azwar Anas telah meresmikan Desa Rejoagung sebagai sentra industri gula merah dan destinasi wisata kuliner jajanan berbahan baku gula merah

Perkembangan teknologi dalam dunia industri pangan semakin berkembang, teknologi tepat guna merupakan teknologi yang tepat sasaran yang dapat dimanfaatkan oleh masyarakat umum, teknologi tepat guna harus lebih ditingkatkan dalam penunjang pemanfaatan teknologi masyarakat Indonesia. Pemanfaatan teknologi berdampak sangat luas dan berimbas pula pada industri-industri kecil dan menengah. salah satunya industri gula merah, maka perlu peningkatan sarana-sarana atau peralatan yang berhubungan dengan proses pengolahan bahan hasil dalam industri rumah tangga tersebut, khususnya industri pembuatan gula merah.

Suplai produk gula merah tidak hanya pasar lokal Banyuwangi, tetapi sudah sampai pulau Bali dan Jawa Timur. Permintaan gula merah yang terus meningkat tiap bulannya seperti PT.Indofood salah satu perusahaan yang mendapat suplay terbesar produk gula merah dengan 225 ton perbulan sebagai bahan baku

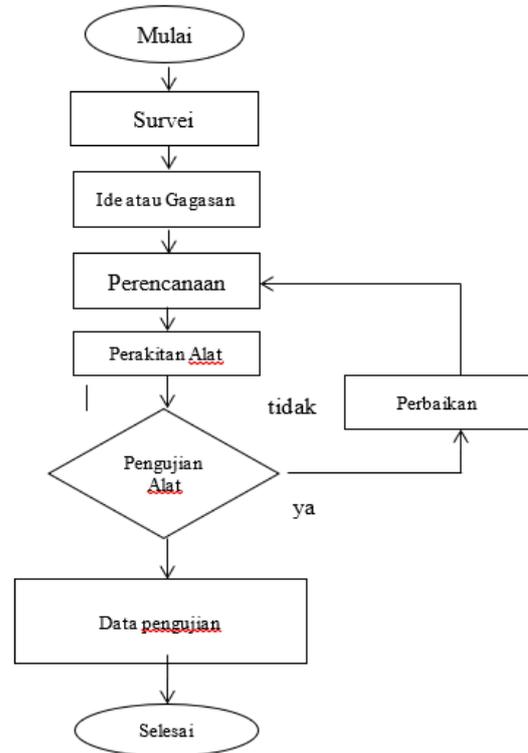
kecap. Permintaan produk yang besar maka perlu ditingkatkan produktifitas gula merah, seperti halnya dengan industri yang ada di Desa Rejoagung Kecamatan Srono Banyuwangi yang masih menggunakan cara konvensional/manual. Oleh sebab itu, harus ditemukan solusi agar dapat memproduksi gula merah yang cepat, *higienis*, kapasitas banyak dan kualitas tetap terjaga.

Dengan adanya sebuah teknologi tepat guna berupa mesin pengaduk gula merah berbasis control system, maka produksi lebih banyak dalam satu kali proses dan waktunya juga lebih cepat, oleh karena itu mesin pengaduk gula merah sangat tepat digunakan untuk menghasilkan gula merah dengan kualitas unggul. Mesin pengaduk gula merah ini menggunakan gaya sentrifugal untuk mengaduk gula merah. Cara kerjanya yaitunira kelapa (legen) di tuangkan dalam wadah/tungku kemudian di aduk dengan pengaduk yang di gerakkan oleh putaran motor dan dipanasi api yang di atur dengan thermostart supaya suhu panas tertentu bisa di control. Selain alat control tersebut juga menggunakan timer control yang berfungsi untuk memindahkan waktu kapan harus mempercepat adukan atau memperlambat adukan sehingga kualitas adukan dan warna gula merah tetap terjaga.

#### METODOLOGI PENELITIAN

Hasil *survey* yang telah dilakukan oleh tim pengabdian kepada masyarakat (PKM) didapatkan beberapa permasalahan yang dihadapi oleh para petani gula merah, yaitu kurang optimalnya hasil produksi karena metode yang di lakukan masih menggunakan cara manual/tradisional . Dari permasalahan yang ada tersebut, maka tim pengusul berusaha untuk menciptakan suatu ide kreatif dan inovatif dengan tujuan memberikan terobosan teknologi tepat guna untuk meningkatkan kapasitas produksi gula merah. Strategi yang akan dilakukan dalam kegiatan ini yaitu dengan cara meningkatkan sumber daya manusia melalui aplikasi teknologi yang mudah digunakan dan metode perawatannya yang praktis, dan juga akan diadakan penyuluhan dan pelatihan untuk proses pengadukan gula merah serta pengenalan teknologi tepat guna tersebut.

Adapun tahapan pengujian alat pengaduk gula merah dapat dilihat pada gambar 3.1 *flowcarth* dibawah ini.



Gambar 1. Flowchart uji coba alat

program pengabdian kepada masyarakat Salah satu metode dalam percobaan alat yang di buat adalah sebagai berikut:



Gambar 2. Percobaan alat pengadukan gula merah

Prosedur pengujian alat untuk pengambilan data sdalah sebagai berikut:

1. menyiapkan alat/mesin pengaduk
2. menyiapkan bahan baku gula merah (nira)

3. menghidupkan mesin dan menuangkan nira kelapa ke dalam adonan
4. sistem pengadukan telah berlangsung dan di lakukan perhitungan waktu dengan menggunakan stopwatch
5. hasil adukan kemudian di bandingkan dengan metode manual berdasarkan durasi waktu dan kualitas gula merah yang di hasilkan

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan percobaan dalam pengadukan gula dihasilkan sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil pengadukan gula

Metode pengadukan	Jumlah nira /legan	Waktu yang di perlukan	Keterangan
Pengadukan Manual	10 liter	200 menit	Waktu yang di butuhkan lebih lama
Pengadukan Dengan Mesin	10 liter	60 menit	Waktu yang dibutuhkan lebih cepat

Data yang dapat dari hasil percobaan pengadukan baik yang lakukan secara manual atau menggunakan mesin terdapat perbedaan waktu dan hasil sehingga menggunakan mesin pengaduk lebih efisien di banding dengan cara manual. Kondisi ini bisa menjadi terobosan bagi para petani gula merah dalam meingkatkan jumlah produksi sehingga dengan adanya peningkatan produksi dan waktu yang cepat akan mengurangi biaya operasional. Tujuan yang ingin di capai adalah peningkatan penghasilan sehingga para petani produksi gula merah bisa memenuhi permintaan pasar yang lebih besar.

### KESIMPULAN

Dari percobaan hasil pengadukan yang di lakukan dengan menggunakan mesin pengaduk menghasilkan sebagai berikut:

1. Adanya perbedaan kecepatan produksi antara proses manual dengan menggunakan mesin pengaduk

2. Kapasitas produksi lebih banyak jika di bandingkan dengan cara manual
3. Kualitas produk gula merah tidak berbeda dengan cara manual
4. Dengan adanya perbedaan waktu produksi maka jumlah produksi bisa di perbanyak dengan mempercepat proses menggunakan mesin pengaduk.

### SARAN

Adapun Saran yang bisa di berikan dari penulis adalah sebagai berikut:

1. System penuangan pada pengaduk gula merah bisa di gunakan system konveyor dan otomasi
2. Adanya pemahaman dan kesadaran terkait pengembangan teknologi pengadukan gula merah sehingga kapasitas produksi bisa di tingkatkan secara tidak langsung pendapatan bisa meningkat.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] *Dalam Perancangan Mekanis*. Buku 1. Yogyakarta : Penerbit Andi Yogyakarta.
- [2] Prasetyo, A. 2008. *Modul Mekanika Teknik 1*. Buku 1 Surabaya: Penerbit Politeknik Negeri Banyuwangi.
- [3] Sularso dan suga, K.1997. *Dasar-dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta : P.T.Pradnya Paramita
- [4] Irawan, A, P,(2009), “*Diktat Elemen Mesin*”, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tarumanagara
- [5] Gere, J, M, Timoshenko, S, P,(2000) “*Mekanika Bahan*”, Edisi 4, Jilid 1, Erlangga, Jakarta.
- [6] Sukardi. 2010. *Gula Merah Tebu: Peluang Meningkatkan Kesejahteraan Masyarakat melalui Pengembangan Agroindustri Pedesaan*. Artikel Pangan. 19(4): 317-330.
- [7] Kristianingrum, S. 2009. *Potensi Nira dari Buah Kelapa [tesis]*. Yogyakarta : Universitas Negeri Yogyakarta.
- [8] Ir. Sere Saghranie Daulay, M.Si. 2015. *Potensi Sentra Gula Kelapa Cikoneng Banten Menjadi Pemasok Bahan Baku Bagi Ikm Kecap Kota Jakarta Pada Tahun 2020*. Kementerian Perindustrian Pusat Pendidikan Dan Pelatihan Industri
- [9] <http://jatim.tribunnews.com/2018/10/15/kampung-jajanan-gula-merah-cara-warga-desa-di-banyuwangi-untuk-kembangkan-ekonomi-kreatif>.

**PERBANDINGAN BEDA TEKANAN FILTER (*DELTA PRESSURE*) BAHAN BAKAR B20 DAN B30 SETELAH PENYIMPANAN PADA TEMPERATUR RENDAH**

Ihwan Haryono<sup>1\*</sup>, Hari Setiapraja<sup>1</sup>, Budi Rochmanto<sup>1</sup>, Sigit Tri Atmaja<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Balai Teknologi Termodinamika, Motor dan Propulsi (BT2MP)Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) Gd. 233, Kawasan PUSPIPTEK, Setu, Tangerang Selatan, Banten 15314

Email: \*ihwan.haryono@bppt.go.id

**ABSTRAK**

Salah satu kelemahan dari biodiesel adalah sifat pada suhu dingin berupa presipitasi (pengendapan) yang mengakibatkan sifat *cold flow properties* dan menyebabkan penyumbatan pada filter bahan bakar. Untuk beberapa daerah tertentu seperti dataran tinggi yang bersuhu sangat dingin, perolehan *filter blocking* akan menjadi kendala di lapangan. Untuk mengetahui pengaruh suhu ekstrim telah dilakukan uji laboratorium dengan melakukan pengukuran beda tekanan pada kertas filter bahan bakar B20, B30 dan minyak diesel murni sebagai pembanding. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dengan penggunaan B30 menghasilkan beda tekanan pada filter lebih tinggi dibandingkan dengan B20 dan dengan bertambahnya waktu penyimpanan (*soaking*) nilai beda tekanan filter juga meningkat. Sementara itu untuk bahan bakar B0 tidak menghasilkan *filter blocking* setelah melalui penyimpanan pada temperature rendah. Dilihat dari pengamatan visual terlihat jelas terjadinya presipitasi pada B20 dan B30 baik itu di sampel bahan bakar uji maupun di kertas filter bahan bakar.

Kata Kunci: diesel, campuran biodiesel, presipitasi, *filter blocking*, sifat aliran dingin

**PENDAHULUAN**

Kebijakan pemerintah Indonesia untuk mengurangi penggunaan energi nasional yang bersumber dari minyak bumi melalui meningkatkan penggunaan energi baru terbarukan tertuang dalam PP no 79 tahun 2014. Peraturan pemerintah tentang Kebijakan Energi Nasional tersebut menurunkan konsumsi minyak bumi dari 41% pada tahun 2014 menjadi 32% dan 25% pada tahun 2020 dan 2025. Penurunan energi minyak bumi melalui substitusi pemanfaatan energi baru terbarukan sebesar 6% menjadi 17% dan 23%. Energi tersebut terdiri dari energi panas bumi, air, biomassa dan biofuel [1].

Biodiesel yang dihasilkan dari proses transesterifikasi minyak nabati atau hewan mempunyai beberapa sifat yang berbeda dibandingkan dengan bahan bakar diesel dari minyak bumi. Selain memiliki banyak keuntungan juga masih memiliki kekurangan yang belum selesai diperbaiki. Salah satu kelemahan dari biodiesel adalah sifat pada suhu dingin berupa presipitasi (pengendapan) yang mengakibatkan sifat mampu alir dingin (*cold flow*) yang rendah dan menyebabkan penyumbatan pada filter bahan bakar. Sifat alir suhu rendah dari berbagai jenis biodiesel diperlihatkan pada Tabel 2 [2].

Tabel 1. Sifat alir pada temperature rendah berbagai jenis biodiesel

FAME	CP (°C)	PP (°C)	CFPP (°C)	Source
Canola (CaME)	-3	-12	-7	[2]
Jatropha (JME)	4	3	2	[5]
Lard (LME)	12	14	8	[6]
Palm (PME)	17	15	12	[3]
Rapeseed (RME), 49.8% erucic acid	0	-15	-8	[2,88]
Rapeseed (RME), < 5% erucic acid	-3	-9	-9	[4]
Soybean (SME)	1	1	-3	[1,45]
Tallow (TME)	13	13	8	[6]
Used Cooking Oil (UCOME)	9	-3	-6	[7]

Legend: FAME = fatty acid methyl esters (biodiesel) of the indicated oil or fat; CP = cloud point, PP = pour point; CFPP = cold filter plugging point.

Tabel 2 menunjukkan sifat alir pada suhu rendah untuk berbagai bahan biodiesel. Dari tabel tersebut terlihat bahwa sifat dari biodiesel yang berasal dari sawit (palm) adalah yang terburuk dimana nilai CP, PP dan CFPP terjadi pada suhu lebih tinggi disbanding dengan yang lain. Sementara itu kondisi lingkungan di Indonesia, untuk beberapa daerah kondisi suhu tersebut dapat dicapai pada waktu waktu tertentu. Beberapa daerah seperti di Lembang Bandung, Batu malang, Dieng Wonosobo, Sleman dan Bantul, Tretes Jawa

Timur, Ruteng NTT, atau Wamena Papua suhu bisa mencapai 10 °C hingga 16°C [3]. Kondisi alam ini dikhawatirkan akan mempengaruhi kondisi bahan bakar biodiesel sehingga mempengaruhi kondisi operasi saat digunakan di kendaraan bermotor.

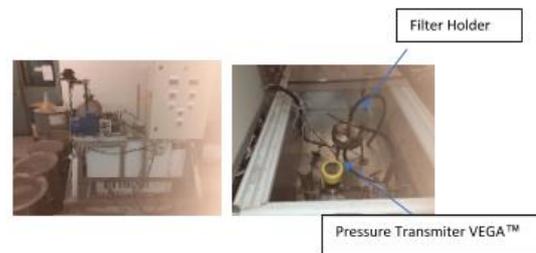
Untuk mengetahui pengaruh suhu ekstrim pada penggunaan biodiesel, B20 dan B30, telah dilakukan uji Laboratorium terhadap filter blocking. Suhu ekstrim yang dipilih sebesar 10°C dengan berbagai variasi waktu penyimpanan. Disamping biodiesel, dilakukan pengujian juga terhadap B0 (Pertadex) dan Solar 48 sebagai pembandingan.

### METODOLOGI PENELITIAN

Peralatan yang digunakan adalah system uji filter blocking sesuai standar DENSO dari Jepang yang dilengkapi alat ukur *delta pressure Transmitter 2 Wire* merk VEGA tipe *Pressure Transmitter + Indikator (Filter Blocking Test Portable I)* dengan rentang ukur / resolusi sebesar 0 ~ 50 kPa / 000,1 kPa. Gambar 1. *Holder filter* untuk memasang kertas filter dipasangi sesor tekanan dari alat ukur delta pressure di atas di posisi masuk (*in*) dan keluaran (*out*) dari kertas filter. Sebuah refrigerator (*show case*) yang dilengkapi system control temperature untuk ada Bak atau container dari stainless steel dengan volume 15 s/d 20 liter untuk tempat penyimpanan bahan bakar uji

Bahan yang digunakan terdiri dari:

- Filter bahan bakar Produk JIMCO™ dengan spesifikasi F13 (porositas 40 µm). Gambar 2.
- Bahan bakar Solar 48, Pertadex dan B100. Adapun B20 dan B30 dibuat dari blending antara B0 (Pertadex) yang diperoleh dari SPBU dengan B100 dengan tingkat kualitas A (ekspor). Spesifikasi Pertadex berdasar SK Dirjend Migas no. 3675 K/24/DJM/2006 [4] dan spesifikasi B100 yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 2.



Gambar 1. Sistem peralatan uji



Gambar 2. Kertas filter yang digunakan

Bahan bakar uji B20 dan B30 dibuat dengan mencampur Pertadex (B0) dan B100 dengan komposisi 20% dan 30% untuk B100 sebanyak 15 liter di bak penampung. Masukkan bahan bakar uji yaitu solar 48, Pertadex dan B30 yang sudah dibuat tersebut ke dalam refrigerator yang telah disetel temperature melalui kontroler sebesar 10°C. Diamkan bahan bakar uji selama 24 jam (1 hari). Setelah pediaman selanjutnya masukkan bak bahan bakar dari refrigerator ke dalam *chamber* system uji. Tutup *chamber* system uji dan selanjutnya dilakukan pengujian *filter blocking* (pengukuran dP).

Persiapan system uji dilakukan sebelum bahan bakar uji dikeluarkan dari refrigerator dan dimasukkan ke dalam *chamber* system uji. Kertas filter dipotong berbentuk lingkaran berdiameter 97 mm sesuai bentuk dari *holder filter*. Tutup *filter holder* dengan kencang. Gunakan bahan bakar diesel (Pertadex) kurang lebih 600 mililiter untuk *flushing*. Selesai *flushing* ganti bahan bakar Pertadex untuk *flushing* dengan bahan bakar sampel uji. Hidupkan listrik dan pompa bahan bakar, dan segera sesuaikan setingan aliran sirkulasi bahan bakar yang melewati filter sebesar 800 mL/min.

Tabel 2. Spesifikasi B0 (Pertadex) dan B100

No	Parameter	Unit	Method ASTM	FAME Export *)	Solar 48 <sup>a)</sup>	Spesifikasi PERTADEx <sup>**)</sup>
1	Cetane Number	-	D613	63	Min 48	Min 53
2	Index Cetane	-	D4737	58.3	Min 45	Min 48
3	Density at 15oC		D4052	873.5	815-870	820 <sup>1</sup> -860
4	Viscosity at 40oC	mm <sup>2</sup> /s	D445	4.372	2,0-4,5	2,0-4,5
5	Sulfur Content	ppm	D2622/D4294	16	max 3000 ppm <sup>b)</sup>	0,05 <sup>2</sup>
6	Distilasi		D86			
	IBP	oC		316		
	10% vol	oC		323		
	20% vol	oC		324		
	30% vol	oC		325		
	40% vol	oC		326		
	50% vol	oC		327		
	60% vol	oC		328		
	70% vol	oC		329		
	80% vol	oC		330		
	90% vol	oC		334	Max 370	Max 340
	95% vol	oC		337		Max 360
	FBP	oC		341		Max 370
7	Flash Point	oC	D93	174	Min 52	Min 55
8	Pour Point	oC	D97	15	Max 52	Max 18
9	Carbon Residue	% m/m	D4530	0.05	Max 0,1 <sup>c)</sup>	Max 0,3
10	Water Content	mg/kg	D1744	62	Max 500	Max 500
11	Oxidation Stability	g/m <sup>3</sup>	D2274			Max 25
12	Biological Growth	-				Nihil
13	FAME Content	% v/v			Max 20 <sup>d)</sup>	Max 10
14	Methanol & Ethanol Content	% v/v	D4815			Tak terdeteksi
15	Cu Stripp Corrosion	merit	D130	1A	Kelas 1	Kelas 1
16	Ash Content	% m/m	D482	0.002	Max 0,01	Max 0,01
17	Sediment Content	% m/m	D4737	0.002	Max 0,01	Max 0,01
18	Total Acid Number	mg KOH/g	D664	0.18	Max 0,6	Max 0,3
19	Stong Acid Number	mg KOH/g	D664	0	0	0
20	Particulate	mg/l	D2276			Max 10
21	Lubricity (HFRR wear scar diameter @60oC)	mikron	D6079	203	Max 460 <sup>e)</sup>	Max 460
22	Visual	-	-	C&B	C&B	C&B
23	Color	No ASTM	D1500	L0.5	Max 3,6	Max 1,0
24	Oxidation Stability	hours	Rancimat	11	Min 35	Max 25 <sup>3</sup>

Keterangan:

a) Spesifikasi SK Dirjend Migas No. 28.K/10/DJM.T/2016

b) Batasan 0,30% m/m setara 3000 ppm mulai berlaku tahun 2016

c) Dengan FAME max 20% v/v; ref WWFC

d) PERMEN ESDM 12/2015 dan perubahannya

e) Parameter ini berlaku jika kadar belerang kurang dari sama dengan 500 ppm

\*) Hasil uji

\*\*) Spesifikasi berdasar SK Dirjend Migas no. 3675 K/24/DJM/2006

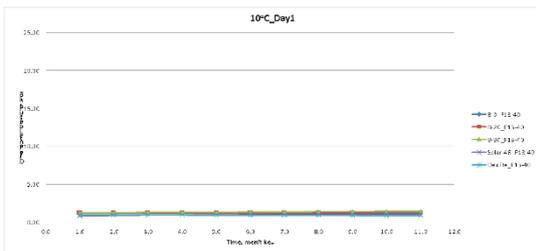
1. Untuk kepentingan lingkungan, berat jenis minimum 815 kg/m<sup>3</sup> dapat digunakan
2. Batasan 0,05% m/m setara dengan 500 ppm
3. Menggunakan metode uji D2274 (unit gr/m<sup>3</sup>)

Langkah penyetingan aliran diusahakan dilakukan dengan cepat. Setelah setingan tercapai, langsung dilakukan pengambilan data. Pengambilan data dilakukan tiap menit, Catat temperatur sample (oC) dan Delta Pressure (dP). Pengujian dilakukan selama 10 menit atau delta pressure (dP) mencapai mendekati angka 45 kPa. Alat uji diseting mati secara otomatis (over pressure) setelah delta pressure mencapai 45 kPa.

Setelah satu pengujian selesai, segera masukkan bahan bakar uji ke dalam refrigerator kembali untuk mendapatkan akumulasi waktu penyimpangan berikutnya. Setelah selesai penyimpanan sesuai dengan waktu yang diinginkan, pengujian dP diulang kembali sebagaimana pengujian sebelumnya.

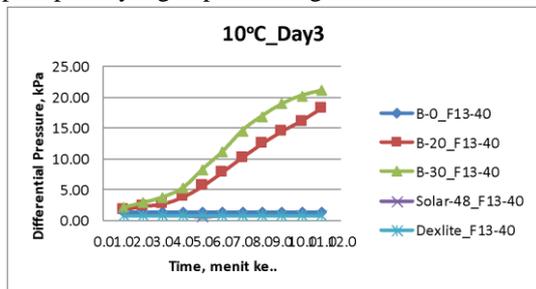
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian dP setelah penyimpanan ditunjukkan pada gambar 3 sampai dengan gambar 6.



Gambar 3. Delta pressure filter setelah penyimpanan 1 hari

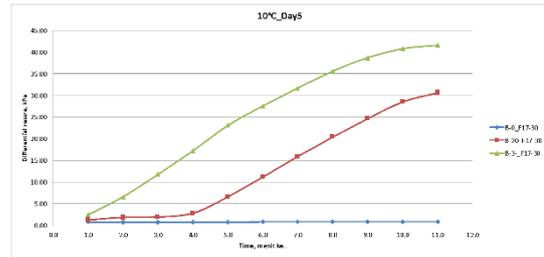
Dari gambar 3 menunjukkan bahwa seluruh bahan bakar uji baik itu B0 maupu B20 dan B30 tidak ada perunagan nilai dP. Hal ini menunjukkan bahwa penyimpanan selama 1 hari tidak terjadi presipitasi yang dapat meningkatkan nilai dP.



Gambar 4. Delta pressure filter setelah penyimpanan 3 hari

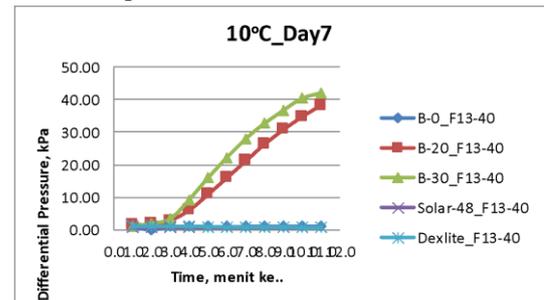
Pada Gambar 4 menunjukkan grafik peningkatan nilai dP filter setelah bahan bakar uji disimpan selama 3 hari. Terlihat hanya bahan

bakar biodiesel, B20 dan B30, yang mengalami peningkatan dP. Peningkatan nilai dP B30 lebih tinggi dibandingkan dengan B20. Peningkatan nilai dP terjadi pada menit ke 2. Grafik peningkatan dP berbentuk ekponensial. Kenaikan grafik secara eksponensial ini merupakan tipikal dari terjadinya filter blocking bahan bakar. Nilai maksimum selama 10 menit pengujian mencapai 21 kPa untuk B20 dan 18 kPa untuk B30. Sementara untuk bahan bakar B0 (Solar 48 dan Pertadex) nilai dP nya tetap selama penyimpanan 3 hari.



Gambar 5. Delta pressure filter setelah penyimpanan 5 hari

Dari gambar 5 terlihat tren peningkatan nilai dp bahan bakar uji setelah penyimpanan 5 hari. Peningkatan nilai dP B30 lebih besar dibandingkan dengan B20. Peningkatan langsung pada menit 1 untuk B30 dan mencapai angka mendekati nilai 45 kPa (*over pressure*) dan peningkatan untuk B20 dimulai pada menit ke 4 dan mencapai nilai 30 kPa.

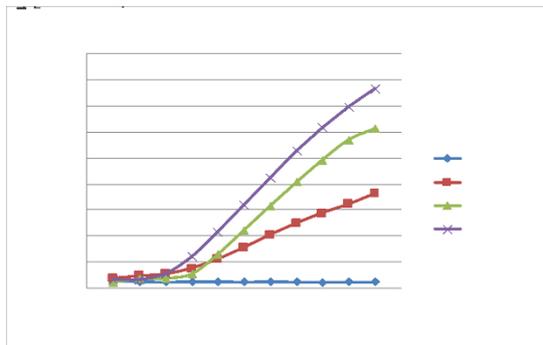


Gambar 6. Delta pressure filter setelah penyimpanan 7 hari

Dari gambar 6 terlihat tren peningkatan nilai dP bahan bakar uji setelah penyimpanan 7 hari. Peningkatan nilai dP B30 lebih besar dibandingkan dengan B20. Peningkatan nilai dP untuk B30 dan B20 mulai di menit ke 4 dan keduanya mencapai angka mendekati nilai 45 kPa (*over pressure*). Peningkatan nilai dP kedua bahan bakar biodiesel untuk penyimpanan 5 hari lebih tinggi dibandingkan dengan setelah penyimpanan 3 hari.

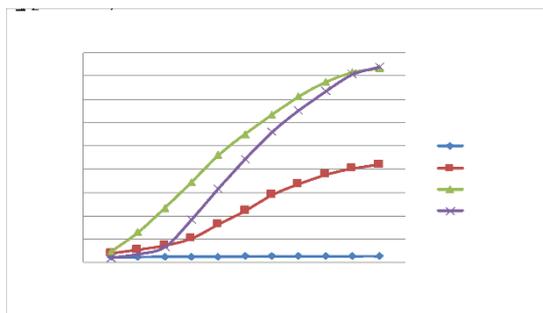
Untuk mengetahui pengaruh waktu penyimpanan terhadap kenaikan dP maka dibuat

grafik perbandingan lama penyimpanan untuk B20 (Gambar 7) dan B30 (Gambar 8).



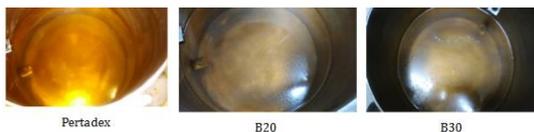
Gambar 7. Perbandingan delta pressure berbagai waktu penyimpanan B20

Dari Gambar 7 menunjukkan lama penyimpanan B20 berpengaruh pada nilai  $\Delta P$  yang dihasilkan. Terlihat semakin lama waktu penyimpanan maka nilai  $\Delta P$  yang dihasilkan juga lebih tinggi. Bahan bakar B20 mencapai over pressure setelah melalui penyimpanan 7 hari.

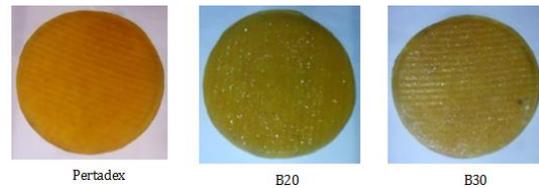


Gambar 8. Perbandingan  $\Delta P$  berbagai waktu penyimpanan B20

Dari Gambar 8 menunjukkan lama penyimpanan B30 berpengaruh pada nilai  $\Delta P$  yang dihasilkan. Terlihat semakin lama waktu penyimpanan maka nilai  $\Delta P$  yang dihasilkan juga lebih tinggi. Bahan bakar B30 mencapai over pressure setelah melalui penyimpanan 3 hari.



Gambar 9. Penampakan presipitasi biodiesel setelah penyimpanan 3 hari (72 jam)



Gambar 10. Penampakan endapan (presipitat) biodiesel pada kertas filter setelah penyimpanan 3 hari (72 jam)

Gambar 9 dan gambar 10 menunjukkan terjadinya presipitasi pada bahan bakar B20 dan B30 setelah penyimpanan 3 hari. Hasil penyaringan berupa presipitat terlihat nyata pada kertas filter. Dari hasil uji nilai titik tuang (*pour point*) B100 menunjukkan nilai  $15^{\circ}\text{C}$  sehingga pada suhu  $10^{\circ}\text{C}$  saat penyimpanan komponen biodiesel pada campuran B20 dan B30 mengalami beku. Nilai titik tuang yang tinggi yang dapat menyebabkan terjadinya presipitasi dipengaruhi kandungan Monogliserida dalam biodiesel FAME [6]. Dengan komposisi biodiesel yang lebih tinggi menghasilkan jumlah Monogliserida pada campuran biodiesel yang lebih tinggi sehingga jumlah presipitasi menyebabkan kenaikan  $\Delta P$  yang lebih tinggi. Untuk bahan bakar B0 (Pertadex) tidak terjadi presipitasi sehingga tidak terlihat presipitat di kertas filter.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil pengujian B20 dan B30 yang dihasilkan dari proses blending B0 (Pertadex) dengan B100 FAME kualitas ekspor menunjukkan terjadi presipitasi setelah disimpan pada temperature  $10^{\circ}\text{C}$  selama 3 hari. Presipitasi dari B20 dan B30 menghasilkan nilai  $\Delta P$  pada filter bahan bakar. Peningkatan nilai  $\Delta P$  untuk B30 lebih tinggi dibandingkan dengan B20. Terjadi *filter blocking (over pressure)* dengan nilai  $\Delta P$  mendekati 45 kPa setelah penyimpanan 5 hari untuk B30 dan setelah penyimpanan 7 untuk B20. Grafik *filter blocking* berbentuk eksponensial dan peningkatan nilai  $\Delta P$  dari filter bahan bakar.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dirjend EBTKE ESDM. 2015. *Pemaparan Energi Baru Terbarukan*.
- [2] Robert O. Dunn. 2015. *Cold flow properties of biodiesel: a guide to getting an accurate analysis*. Chemical Engineer, Bio-Oils Research Unit, USDA/ARS/NCAUR, 1815 N. University St., Peoria, IL 61604, USA [https://www.researchgate.net/publication/281365791\\_Cold\\_flow\\_properties\\_of\\_biodiesel\\_A\\_guide\\_to\\_getting\\_an\\_accurate\\_analysis](https://www.researchgate.net/publication/281365791_Cold_flow_properties_of_biodiesel_A_guide_to_getting_an_accurate_analysis)
- [3] BBC News Indonesia. 7 Juli 2018. *Cuaca dingin landa sejumlah kota di Indonesia, ada hubungan dengan jarak Bumi ke Matahari?* <https://www.bbc.com/indonesia/indonesia->

44748809

<https://www.pertamina.com/industrialfuel/>

- [4] Hakan Ayranci. *Design and Performance Evaluation of a Fuel Filter*. Februari 2010. Mechanical Engineering Department, Middle East Technical University. <https://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12611586/index.pdf>

- [5] G.M. Chupkaal. Foutsaj.A. LennonbT. Allemana D.A. DanielsbR.L. McCormicka. *Saturated Monoglycerides effects on low-temperature performance of biodiesel blends*. *Fuel Process Technology*. Vol. 118 February 2014. Pages 302-309. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378382013003160>

**KARAKTERISTIK ALIRAN DUA FASE (UDARA-AIR) MELALUI PIPA  
SCALLOPED GROOVE HORIZONTAL**Gufron Saiful Bachri<sup>1\*</sup>, Rudy Soenoko<sup>2</sup>, Denny Widhiyanuriyawan<sup>2</sup><sup>1</sup>Mahasiswa Magister Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya<sup>2</sup>Dosen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Jl. Veteran Malang 65145

Email: \*gufron.bachri@yahoo.com

**ABSTRAK**

Permukaan beralur banyak diteliti untuk mengurangi pressure drop dan mengontrol suatu aliran pada permukaan. Pada aliran fluida yang secara aplikatif adalah turbulen, maka penambahan groove mampu mempengaruhi kondisi lapisan batas dekat dinding pipa. Hal ini sangat menentukan pressure drop serta pola aliran yang terjadi selama fluida mengalir. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis pengaruh jumlah alur pada pipa terhadap pressure drop dan pola aliran yang terjadi. Dalam penelitian ini menggunakan 3 pipa dengan jumlah alur 4, 8, 16, serta pipa tanpa alur yang digunakan sebagai pembandingan. Aliran yang di amati adalah aliran dua fase (air-udara). Dengan debit air 14, 16, 18, dan 20 liter/menit. Sedangkan debit udara 0.5, 1, 1.5, 2, dan 2,5 liter/menit. Pipa uji menggunakan pipa akrilik dengan diameter 1 inch dan Panjang 100cm dengan alur yang digunakan adalah jenis scalloped groove. Pipa akrilik memberikan visualisasi yang terjadi dalam aliran, yang difoto dengan kamera berkecepatan tinggi. Sedangkan signal pressure digitallisasi dengan data logger dan direkam pada memori computer. Dari hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa jumlah alur mempengaruhi pressure drop. Pressure drop terjadi pada semua groove baik 4, 8 dan 16. Penurunan pressure drop tertinggi terjadi pada groove 16. Saat terjadi penurunan pressure drop pada tiap-tiap grove, pada debit udara rendah bubbly yang terbentuk lebih rapat tanpa timbul slug flow. Ketika debit udara semakin besar, bubbly berkurang dan diikuti oleh timbulnya slug flow. Perubahan kenaikan debit air pada penurunan pressure drop tiap-tiap groove, menunjukkan kerapatan antara bubbly dan slug flow yang terbentuk. Maka semakin turun pressure drop, ekor slug diikuti oleh bubbly yang semakin rapat.

Kata Kunci: Aliran Dua Fase, Udara-air, Pipa Horizontal, Alur, Aliran Slug

**PENDAHULUAN**

Dalam kehidupan sehari-hari aliran fluida yang terjadi di dalam perpipaian tidak hanya berupa aliran satu fase saja, akan tetapi juga sering terjadi aliran multifase. Aliran multifase adalah aliran yang fasenya terdiri dari padat, cair dan gas yang saling berinteraksi. Contoh pengaplikasian pada aliran multifase diantaranya adalah sistem tenaga, sistem perpindahan panas, sistem pelumasan, maupun sistem biologi. Aliran multifase bisa berupa aliran dua fase ataupun aliran tiga fase. Pada aliran dua fase sendiri adalah aliran yang terdiri dari dua fase berbeda, salah satunya adalah aliran dua fase udara-air.

Fluida yang mengalir melalui sebuah saluran dengan panjang tertentu mengalami suatu hambatan. kerugian energi berupa penurunan tekanan (*pressure drop*) yang disebabkan oleh mayor *losses* akibat dari gesekan sepanjang dinding pipa maupun *minor losses* akibat

perubahan bentuk dari saluran dan juga tergantung berdasarkan koefisien gesek pipa tersebut

Hambatan yang dihubungkan dengan energi yang digunakan untuk menggerakkan fluida dari suatu tempat ke tempat lain sering disebut *pressure drag*. Di alam terdapat bentuk dan cara untuk mengurangi drag pada aliran fluida, dibuktikan dengan efisiensi pada pergerakan ikan lumba-lumba dan hiu. Struktur kulit memudahkan hiu untuk berenang dengan mengurangi drag saat melewati air. Lapisan dalam skala kecil yang melindungi kulit hiu disebut dengan dermal denticle (skin teeth), yang memiliki bentuk mirip dengan alur kecil. Bentuk lapisan kulit ini yang kemudian mulai banyak dimanfaatkan dalam kehidupan manusia.

Alur groove adalah bentuk longitudinal sepanjang searah streamwise yang berfungsi untuk mengurangi drag dengan cara mengubah *near wall flow structure* pada sebuah bentuk. Teknik control

aliran untuk pengurangan drag ini sangatlah penting dalam aplikasi engineering.

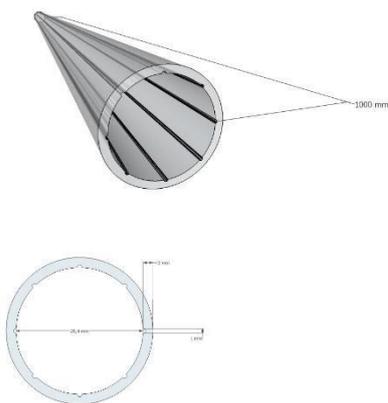
Grüneberger and Hage, (2011), Fungsi groove adalah memberikan penundaan transisi ke turbulen dari lapisan batas laminar disebabkan interaksi antara alur longitudinal dengan *hairpin vortices* untuk memperlambat pertumbuhannya (Choi, 2000). Pengoptimalisasian pengurangan drag dapat dilakukan dengan memaksimalkan *protrusion height* dari alur untuk aliran longitudinal dan *cross flow*. Pengukuran shear stress secara langsung pada alur dengan *trapezoidal grooves* sejajar dengan arah aliran fluida pada *fully developed* turbulen *channel flow* menghasilkan penurunan drag sebesar 7.6% pada *dimensionless spacing*  $s^+ = 0.3 - 24$ .

Sunu et.al., (2016) Penelitian pada internal flow dengan menggunakan fluida air yang dilakukan pada pipa beralur dengan diameter 2,6 cm dan panjang 100 cm, pada pipa dengan *rectangular groove* (alur 2, 8, 12, 32) terjadi penurunan drag, friction, kecepatan radial, skewness factor bernilai positif, diameter vortex lebih besar dari lebar alur dan fluida tidak mengalami perputaran selama mengalir dari upstream ke downstream.

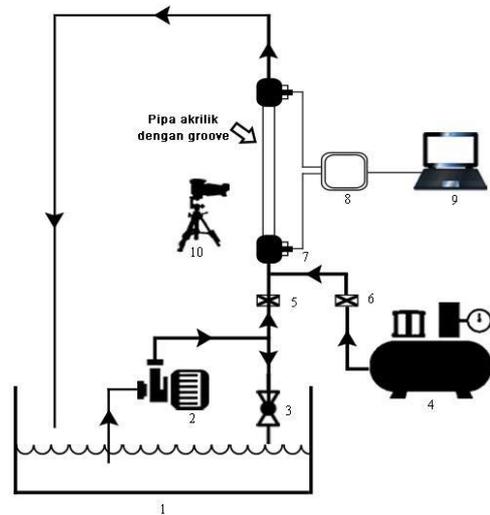
Dari uraian tersebut dan melihat pentingnya penelitian aliran dua fase pada pipa *groove*, maka dilakukanlah penelitian aliran dua fase melalui pipa horizontal dengan *groove* pada sepanjang aliran pipa. Jenis *groove* yang digunakan adalah *scalloped groove*.

## METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimental yaitu dengan melakukan pengukuran langsung dan tak langsung.



Gambar 1. Bentuk pipa dengan *scalloped groove*



Gambar 2. Instalasi Penelitian

Keterangan :

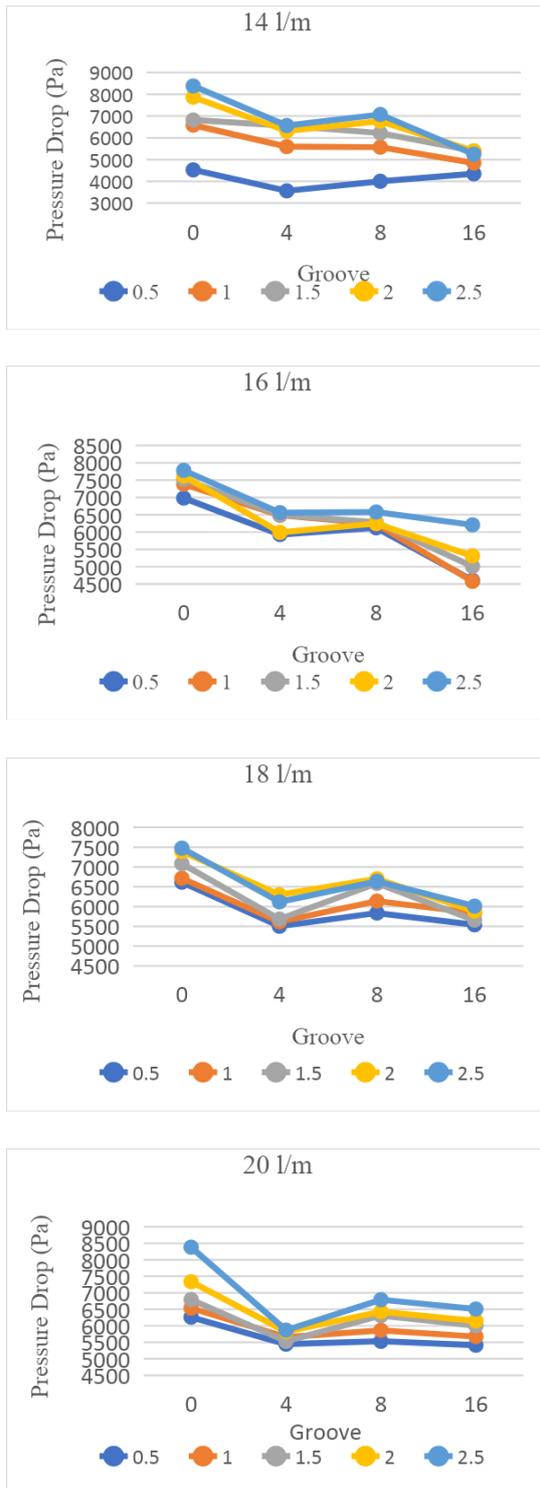
- |                            |                           |
|----------------------------|---------------------------|
| 1. Tandon air              | 6. Rotameter              |
| 2. Pompa air               | 7. <i>Pressure sensor</i> |
| 3. <i>Valve</i> aliran air | 8. <i>Data logger</i>     |
| 4. Kompresor               | 9. <i>Laptop</i>          |
| 5. <i>Flowmeter</i>        | 10. Kamera dan tripod     |

Eksperimen akan dilakukan dengan variasi debit air 14, 16, 18 dan 20 liter/menit. Sedangkan variasi debit udara 0.5, 1, 1.5, 2, dan 2.5 liter/menit.

Air sebagai fase cair pada aliran dua fase disuplai dengan pompa dan udara disuplai dengan kompresor. Air dari tangki input dan diatur laju alirannya menggunakan *by-pass* dan kemudian laju aliran diukur menggunakan *flow meter*. Udara juga diukur laju aliran menggunakan katup berdasarkan nilai dari *flow meter*. Kedua aliran tersebut bercampur pada *mixer*. Kedua aliran membentuk aliran dua fase yang memalui seksi pipa uji. Data tekanan ditangkap oleh *pressure sensor* pada sisi *inlet* dan *outlet* pipa. Data tekanan diukur perdetik selama 1 menit oleh data logger. Aliran air kemudian kembali ke tangki input, sehingga membentuk siklus. Hasil pengamatan ditangkap melalui kamera berkecepatan tinggi pada sisi tengah pipa uji.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

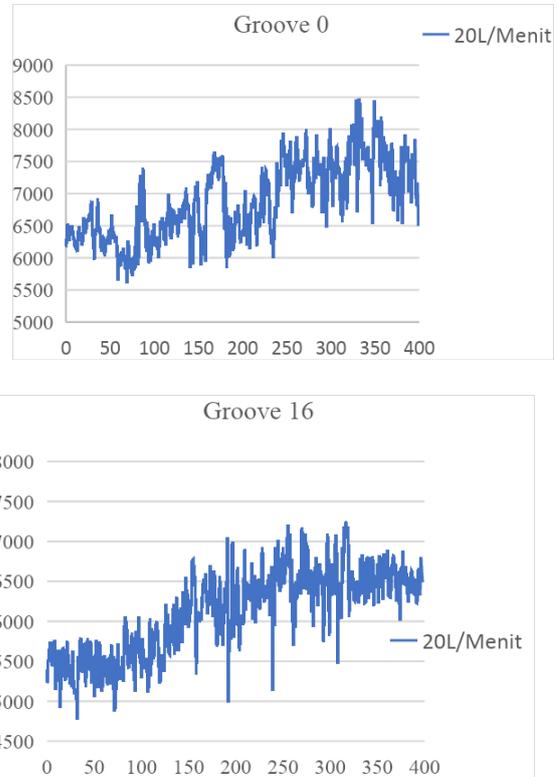
Data pressure digambarkan berupa grafik rata-rata pressure drop pada setiap alur. Data tersebut dikelompokkan berdasarkan pada debit 14, 16, 18, dan 20 liter/menit.



Gambar 3. Data Pressure Pada Tiap Aliran

Pada gambar 3 pipa dengan alur 0, 4, 8 dan 16 secara jelas menunjukkan nilai penurunan pressure drop. Pada tiap-tiap debit, peranan groove mampu mengurangi pressure drop yang terjadi. Pada debit air 14 dan 16 liter/menit, nilai pressure drop tertinggi terjadi pada groove 16, diikuti groove 4 kemudian 8. Pada debit 18 dan 20

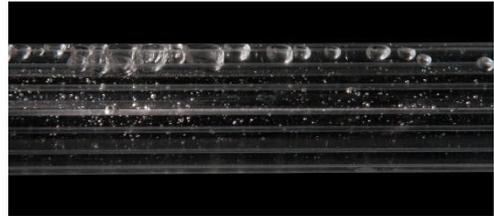
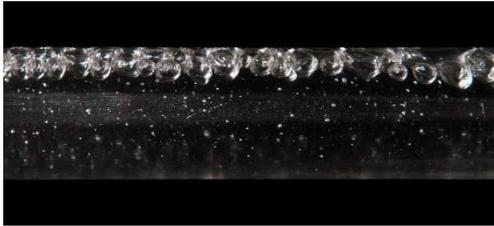
liter/menit nilai penurunan pressure drop tertinggi terjadi pada groove 4 dan di ikuti groove 16 kemudian 8. Semakin tinggi debit air dalam pipa, semakin turun nilai pressure drop pada titik groove 4, dan di ikuti naiknya pressure drop pada groove 16.



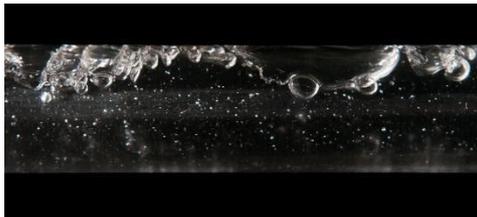
Gambar 4. Data signal Pressure drop pada debit 20 l/menit dikondisi groove 0 dan 16.

Pada gambar 4 dijelaskan tentang pressure drop sebagai fungsi nilai data signal fluktuasi. Terlihat pada gambar bahwa naiknya groove mampu meredam nilai fluktuasi getaran pada aliran. Dibuktikan dengan pada groove 0, getaran lebih acak serta kerenggangan pada garis signal. Sedangkan pada groove 16, garis signal terlihat lebih rapat dan di ikuti dengan fluktuasi yang lebih rendah.

Pola aliran antara groove 0 dengan groove 16. Dimana terlihat pada groove 0 dan groove 16, bentuk aliran yang timbul hanyalah bubbly. Bubbly pada groove 0 memiliki struktur bubbly yang lebih memisah dengan bubbly yang lain. Sedangkan pada groove 16, memiliki struktur bubbly yang menyatu dan rapat. Hal ini akibat pengaruh bubbly sebagai fungsi pengaruh menyatunya bubbly yang nantinya membentuk slug flow dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Pola aliran pada debit 20 l/menit dikondisi udara 0.5 l/menit groove 0 dan 16



Gambar 6. Pola aliran pada debit 20 l/menit dikondisi udara 2.5 l/menit groove 0 dan 16.

Gambar 6 pada debit udara tertinggi 2.5 l/m. Terlihat pada gambar terjadi adanya bubbly dan slug. Bentuk slug cenderung oval dengan diameter hampir 40% dari pipa. Dengan bubbly yang rapat namun terlihat gumpalan-gumpalan kecil. Sedangkan pada groove 16, bentuk bubbly lebih menyatu dengan gumpalan yang lekas memudar. Pada slug sendiri, diameter lebih kecil dibanding dengan groove 0. Serta timbulnya slug kecil akibat berkumpulnya beberapa bubbly dibelakang slug utama. Dengan adanya groove mampu menacomodasi bentuk slug besar untuk memecahnya, karena slug sendiri menciptakan kekuatan besar untuk merubah arah pada belokan pipa.

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Terjadi penurunan *pressure drop* pada semua groove 4,8 dan 16. Semakin besar *groove* maka bentuk *bubbly* dan *slug* semakin padat, serta ukuran *slug flow* yang terjadi semakin kecil.
2. *Pressure drop* aliran dua fase melalui *scalloped groove* berbanding lurus dengan fluktuasi *pressure* yang terjadi. Dimana nilai fluktuasi semakin kecil.

## SARAN

Berdasarkan hasil kajian yang dilakukan dapat disarankan sebagai berikut :

1. Untuk memperoleh pemahaman manfaat jumlah alur dalam internal flow, perlu kajian dengan variasi jumlah alur lebih banyak.
2. Diperlukan teknik pengambilan data lagi, sehingga memudahkan pemahaman terhadap perilaku transisi pada aliran.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sunu, et al., 2016. *Turbulent Flow Characteristics in Internally Grooved Pipe*. Australian Journal of Basic and Applied Sciences
- [2] Brean Dean. and Bharat Bhusan., 2010. *Shark-skin surfaces for fluid-drag reduction in turbulent flow: a review*, The Journal Royal Society. USA
- [3] Baloutaki, M.A., R. Carriveau, D.S.K. Ting, 2013. *Effect of Free-stream Turbulence on Flow Characteristics Over a Transversely-Grooved Surface*. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 51: 56-70.
- [4] Aroonrat, K., C. Jumholkul, R. Leelaprachakul, A.S. Dalkilic, O. Mahian, S. Wongwises, 2013. *Heat Transfer and Single-Phase Flow in Internally Grooved Tube*. *International Communication in Heat and Mass Transfer*, 42: 62-68.
- [5] Shan Huang, 2011. *VIV Suppression Of A Two Degree Of Freedom Circular Cylinder And Drag Reduction Of A Fix Circular Cylinder By The Use Of Helical Grooves*. *Journal of Fluids and Structures*, 27: 1124-1133.
- [6] Hongwei, M.A., T.I.A.N. Qiao and W.U. Hui, 2005. *Experimental Study Of Turbulent Boundary Layers On Groove/Smooth Flat Surfaces*. *J. of Thermal Science*, 14(3): 93-97.
- [7] Litvinenko, Y.A., V.G. Chernoray, V.V. Kozlov, L. Loefdahl, G.R. Grek, H.H. Chun, 2006. *The Influence Of Riblets On The Development Of A Structure And Its Transformation Into A Turbulent Spot*. *Doklady Physics*, 51(3): 144-147. doi: 10.1134/s1028335806030128.
- [8] Setyarini Putu Hadi, et al., 2003. *Pengaruh Jumlah Alur Memanjang Terhadap Beda Tekanan Dan Koefisien Gesek Pada Pipa Horizontal*.

## KESETIMBANGAN CAIR-CAIR SISTEM TERNER DIETIL KARBONAT + ISOBUTANOL + H<sub>2</sub>O PADA TEMPERATUR 303.15 K PADA TEKANAN ATMOSFER

Bagus Rizky Pratama Budiajih<sup>1\*</sup>, Arina Ulfa S<sup>1</sup>, Prof.Dr.Ir.I Gede Wibawa M.Eng.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Email: \*bagus.budiajih007@gmail.com

### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan data kesetimbangan cair-cair sistem terner DEC + Isobutanol + H<sub>2</sub>O pada suhu 303.15 pada tekanan atmosfer. Peralatan yang digunakan adalah equilibrium cell yang dilengkapi dengan jaket pemanas. Jaket pemanas dialiri air yang disirkulasi melalui waterbath untuk menjaga suhu kesetimbangan. Ekperimen dilakukan dengan campuran komposisi tertentu dimasukkan ke dalam equilibrium cell dan diaduk selama 4 jam kemudian didiamkan selama 20 jam agar fase organik dan aqueous terpisah secara sempurna. Masing-masing sampel diambil secara terpisah untuk dianalisa komposisinya sebagai komposisi kesetimbangan menggunakan Shimadzu Gas Chromatography 2010 Plus dengan standart deviasi 0.1 % mol. Penelitian diulangi untuk komposisi awal yang berbeda agar diperoleh tie line atau model kurva yang terdistribusi secara merata pada range komposisi kesetimbangan. Dari hasil eksperimen untuk sistem DEC + Isobutanol + H<sub>2</sub>O merupakan sistem dengan Treyball tipe II. Data hasil eksperimen kemudian dikorelasikan dengan persamaan Non-Random Two-Liquid (NRTL) dan Universal Quasi-Chemical (UNIQUAC) menghasilkan *root mean square deviation* 0.8 % untuk system yang diteliti.

Kata Kunci: LLE, DEC, Isobutanol, H<sub>2</sub>O, NRTL, UNIQUAC

### PENDAHULUAN

Bahan bakar baik bensin maupun solar saat ini banyak digunakan baik untuk aktifitas transportasi maupun industri. Namun, pembakaran yang kurang sempurna menyebabkan penggunaan bahan bakar menjadi lebih boros dan dapat menghasilkan emisi gas buang yang berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan. Diantaranya adalah emisi dari materi partikulat, CO, hidrokarbon, NO<sub>x</sub>, dan SO<sub>2</sub> (Kadarohman, 2003).

Alternatif untuk meningkatkan efisiensi pembakaran bahan bakar dan mengurangi pencemaran adalah mereformulasi bahan bakar dengan zat aditif yang berfungsi untuk memperkaya kandungan oksigen dalam bahan bakar. Song (2001) dan Choi (1999) mengemukakan zat aditif oxygenate pada bahan bakar berperan untuk meningkatkan bilangan oktan (octane number) serta atom oksigen di dalam bahan bakar yang berperan untuk mengoksidasi jelaga dan gas karbon monoksida (CO) sehingga pembakaran menjadi lebih sempurna.

Senyawa oxygenate adalah senyawa organik cair yang dapat dicampur ke dalam bahan bakar untuk menambah kandungan oksigennya,

seperti ditertiarybutyl peroxide (DTBP), methyl-tertiary-butyl ether (MTBE), tri-propylene glycol methyl ether (TPGME), dan di-butyl maleate (DBM). Senyawa organologam yang sudah digunakan sebagai aditif, misalnya tetra ethyl lead (TEL) dan methyl cyclopentadienyl manganese tricarbonyl (MMT). Aditif ini akan membuat radikal bebas pada rantai karbon bahan bakar. Dengan adanya radikal bebas, maka akan semakin mudah rantai karbon tersebut untuk membuat cabang baru. Efek dari timbulnya cabang baru adalah meningkatnya nilai oktana/setana dan nilai kalori. Namun setelah dipakai beberapa waktu, para peneliti menemukan kelemahan TEL yaitu dapat menimbulkan emisi bahan bakar yang membahayakan bagi kesehatan manusia. Begitu juga dengan MTBE yang memiliki kelarutan tinggi dalam air, sehingga dapat menimbulkan kerugian bagi manusia. Apabila terjadi kebocoran tangki SPBU maka bensin akan meresap ke dalam tanah. Air tanah yang terminum manusia ini berbahaya karena telah tercemari oleh MTBE yang bersifat karsinogenik (zat penyebab kanker) (Torre et al., 2006).

Untuk mengatasi masalah tersebut maka dilakukan beberapa penelitian mengenai alternatif

baru zat aditif bahan bakar yang dapat meningkatkan nilai oktan serta memenuhi standar emisi yaitu Diethyl carbonate (DEC) merupakan zat aditif ideal untuk menggantikan MTBE karena memiliki kandungan oksigen tinggi, tekanan uap rendah, nilai oktan campuran yang tinggi, mengurangi emisi hidrokarbon, CO, NO<sub>x</sub>, dan partikel lainnya. DEC telah digunakan sebagai aditif tunggal pada bensin dan aditif tambahan pada kombinasi alkohol sederhana (methanol, ethanol, dan 1-propanol).

Untuk mengatasi masalah ini butanol dan isomernya (1-butanol, 2-butanol, isobutanol, dan tert-butanol) mulai dipertimbangkan sebagai aditif bahan bakar sebagai pengganti etanol. Butanol dapat diproduksi dari bahan alami melalui proses fermentasi (biobutanol) sehingga termasuk bahan yang ramah lingkungan. Butanol memiliki sifat yang lebih mirip dengan gasoline dibandingkan dengan etanol dan memiliki kelarutan lebih rendah terhadap air dibandingkan dengan etanol, sehingga dapat menghasilkan campuran dengan gasoline yang lebih stabil (Peng dkk,1996).

## METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan eksperimen untuk mendapatkan data kesetimbangan cair-cair dalam fase organik dan fase aqueous. Selanjutnya fase organik dan fase aqueous hasil eksperimen tersebut dianalisa dengan menggunakan Gas Chromatography (GC) untuk mengetahui komposisi kesetimbangan fase. Langkah selanjutnya adalah memprediksi kesetimbangan berdasarkan korelasi model persamaan NRTL dan UNIQUAC.

- Peralatan Eksperimen

Eksperimen ini menggunakan equilibrium cell yang dilengkapi dengan jaket pemanas untuk menjaga suhu agar tetap konstan serta magnetik stirer untuk membuat larutan teraduk sempurna.

- Bahan Yang Digunakan

Bahan-bahan yang digunakan pada percobaan ini adalah Diethyl Carbonate yang diperoleh dari Wuhan Fortuna Chemical Co., LTD, China, dengan kemurnian 99%, Isobutanol p.a (MERCK) dengan kemurnian 99.9% dan Aquabidesilata (IKAPHARMINDO PUTRAMAS).

- Prosedur Eksperimen

Tahap percobaan dilakukan untuk memperoleh data kesetimbangan fase. Percobaan dilakukan dengan cara mencampurkan bahan yang telah diketahui komposisinya ke dalam equilibrium cell. Peralatan ini dilengkapi dengan magnetic stirrer dan jaket untuk sirkulasi air sebagai pemanas sesuai suhu yang dikehendaki. Campuran kemudian diaduk pada suhu 303.15 K pada tekanan atmosferik selama 4 jam. Setelah 4 jam pengadukan dihentikan, kemudian campuran dibiarkan hingga tercapai kesetimbangan selama

20 jam. Setelah kesetimbangan tercapai pada masing-masing fase diambil sampel untuk dianalisa komposisinya memakai Gas Chromatography (GC) Shimadzu 2010 Plus menggunakan kolom Rtx-5 untuk analisa sistem DEC –Isobutanol – H<sub>2</sub>O.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Eksperimen

Pada eksperimen kesetimbangan cair-cair sistem Dietil Karbonat (1) + Isobutanol (2) + H<sub>2</sub>O (3) pada suhu 303.15 K terdistribusi menjadi dua fase (fase atas dan bawah). Komposisi data kesetimbangan sistem ini diperoleh dari hasil analisa dengan menggunakan Gas Chromatography (GC). Adapun data kesetimbangan cair-cair hasil eksperimen yang diperoleh untuk sistem Dietil Karbonat (1) + Isobutanol (2) + H<sub>2</sub>O (3) untuk suhu 303.15 K ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Data eksperimen kesetimbangan cair-cair sistem Dietil Karbonat (1) + Isobutanol (2) + H<sub>2</sub>O (3)

T(K)	Fase Aqueous			Fase Organik		
	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>
303.15	0.0224	0	0.9776	0.9569	0	0.0431
	0.0328	0.0327	0.9345	0.7482	0.1319	0.1199
	0.0400	0.0386	0.9215	0.5456	0.2190	0.2355
	0.0296	0.0470	0.9234	0.4012	0.2799	0.3189
	0.0204	0.0576	0.9219	0.2608	0.2912	0.4481
	0.0179	0.0663	0.9159	0.1214	0.2910	0.5876
	0.0193	0.0977	0.8831	0.0542	0.2515	0.6944
	0	0.1105	0.8895	0	0.2344	0.7656

### Penentuan Parameter

Data hasil eksperimen yang diperoleh dikorelasikan dengan menggunakan persamaan NRTL dan UNIQUAC yang digunakan untuk sistem multikomponen. Penentuan parameter (*fitting*) dengan model NRTL, harga  $\alpha$  untuk sistem kesetimbangan cair-cair campuran polar dan non polar berkisar antara 0.2-0.47. Pada perhitungan kali ini, dilakukan perhitungan menggunakan harga  $\alpha$  sebesar 0.2, 0.3 dan 0.4 seperti terlihat pada Tabel 3. Dari hasil perhitungan diperoleh bahwa nilai  $\alpha = 0.2$  menghasilkan % RMSD lebih kecil daripada menggunakan  $\alpha = 0.3$  dan 0.4, terlihat  $\alpha = 0.2$  paling baik dalam mengkorelasikan data eksperimen menggunakan persamaan NRTL. Sedangkan penentuan parameter (*fitting*) dengan persamaan UNIQUAC ditentukan terlebih dahulu harga luas permukaan molekular (q) dan volume molekular (r) untuk tiap-tiap komponen. Pengujian validitas dilakukan berdasarkan acuan harga *root square mean deviation* (RMSD) yaitu penyimpangan absolute rata-rata komposisi antara data eksperimen dan hasil perhitungan menggunakan persamaan model. Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan hasil perhitungan harga RMSD persamaan UNIQUAC

dan NRTL pada masing-masing temperatur. Adapun hasil parameter yang diperoleh dengan persamaan NRTL dan UNIQUAC ditunjukkan pada tabel 2 dan 3. Sedangkan parameter UNIQUAC yang digunakan dalam melakukan perhitungan persamaan UNIQUAC disajikan dalam tabel 2

Tabel 2. UNIQUAC Parameter Luas dan Volume molekul

Chemicals	UNIQUAC	
	R	Q
DEC	4.39684	3.896
Isobutanol	3.45353	3.048
H <sub>2</sub> O	0.92	1.4

(Aspen Plus v27.0 Database)

Persamaan NRTL:

$$\left(\frac{G^E}{RT}\right) = \sum_i x_i \frac{\sum_j \tau_{ji} G_{ji} x_j}{\sum_k G_{ki} x_k} \quad i, j, k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (1)$$

$$\tau_{ji} = \frac{g_{ji} - g_{ii}}{RT}, \quad g_{ii} = g_{jj} = g_{kk} = 0 \quad (2)$$

$$G_{ji} = \exp(-\alpha_{ji} \tau_{ji}) \quad (3)$$

$$g_{ji} = g_{ij} \quad (4)$$

$$\alpha_{ji} = \alpha_{ij} \quad (5)$$

$$\ln \gamma_i = \frac{\sum_{j=1}^n \tau_{ji} G_{ji} x_j}{\sum_{k=1}^n G_{ki} x_k} + \sum_{j=1}^n \frac{x_j G_{ij}}{\sum_{k=1}^n G_{kj} x_k} \left( \tau_{ij} - \frac{\sum_{k=1}^n x_k \tau_{kj} G_{kj}}{\sum_{k=1}^n G_{kj} x_k} \right) \quad (6)$$

Persamaan UNIQUAC:

$$g = g^c + g^R \quad (7)$$

$$g^c = \sum_i x_i \ln \frac{\Phi_i}{x_i} + \frac{z}{2} \sum_i q_i x_i \ln \frac{\theta_i}{\Phi_i} \quad (8)$$

$$g^R = - \sum_i q_i x_i \ln \left( \sum_j \theta_j \tau_{ji} \right) \quad i, j, k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (9)$$

$$\theta_i = \frac{x_i q_i}{\sum_j x_j q_j} \quad (10)$$

$$\Phi_i = \frac{x_i r_i}{\sum_j x_j r_j} \quad (11)$$

$$\tau_{ji} = \exp\left(-\frac{(u_{ji} - u_{ii})}{RT}\right), \quad u_{ii} = u_{jj} = u_{kk} = 0 \quad (12)$$

$$u_{ji} = u_{ij} \quad (13)$$

$$\ln \gamma_i = \ln_i^c + \ln \gamma_i^R \quad (14)$$

$$\ln \gamma_i^c = \ln \frac{\phi_i}{x_i} + \frac{z}{2} q_i \ln \frac{\theta_i}{\phi_i} + l_i - \frac{\phi_i}{x_i} \sum_j x_j l_j \quad (15)$$

$$\ln \gamma_i^R = q_i \left[ 1 - \ln(\sum_j \theta_j \tau_{ji}) - \sum_j \frac{\theta_j \tau_{ij}}{\sum_k \theta_k \tau_{kj}} \right] \quad (16)$$

$$\theta_i = \frac{q_i}{\sum_j q_j x_j} \quad (17)$$

$$\phi_i = \frac{r_i x_i}{\sum_j r_j x_j} \quad (18)$$

$$\tau_{ij} = \exp\left(-\frac{u_{ij} - u_{ii}}{RT}\right) \quad (19)$$

$$l_i = \frac{z}{2} (r_i - q_i) - (r_i - 1) \quad (20)$$

$$\%RMSD = 100\% \times \sqrt{\frac{\sum_k^n \sum_j \sum_i (x_{ijk}^{experiment} - x_{ijk}^{prediction})^2}{6n}} \quad (21)$$

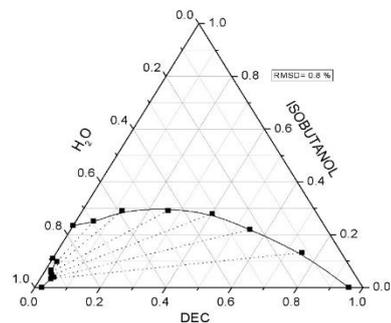
Tabel 3. Hasil Parameter persamaan NRTL

Sistem	NRTL parameter (K)			α	% RMSD
	i-j	aij	aji		
DEC + Isobutanol + H <sub>2</sub> O	1-2	-1450.3	1497.56	0.2	0.8
	2-3	1078.46	879.49		
	1-3	2440.13	-133.22		
DEC + Isobutanol + H <sub>2</sub> O	1-2	1050.42	-1923.7	0.3	0.9
	2-3	268.08	1278.43		
	1-3	2453.8	36.24		
DEC + Isobutanol + H <sub>2</sub> O	1-2	825.77	-2474.4	0.4	1
	2-3	497.34	1096.62		
	1-3	2580.22	172.82		

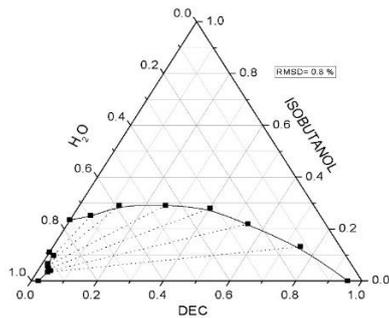
Tabel 4. Hasil Parameter persamaan UNIQUAC

Sistem	UNIQUAC parameter (K)			% RMSD
	i-j	aij	aji	
DEC + Isobutanol + H <sub>2</sub> O	1-2	65.5	115.9	0.8
	2-3	-33.24	110.5	
	1-3	438.26	134.97	

Korelasi data kesetimbangan sistem terner Dietil Karbonat + Isobutanol + H<sub>2</sub>O dengan menggunakan persamaan NRTL dan UNIQUAC ditunjukkan pada Gambar 1 dan 2.



Gambar 1. Diagram Kesetimbangan Cair-Cair Sistem Terner DEC (1) + Isobutanol (2) + H<sub>2</sub>O (3) pada Suhu 303.15 K ; (■) Data Eksperimen ; (---) Tie Line Eksperimen ; (—) Persamaan NRTL



Gambar 2. Diagram Keseimbangan Cair-Cair Sistem Ternier DEC (1) + Isobutanol (2) + H<sub>2</sub>O (3) pada Suhu 303.15 K ; (■) Data Eksperimen ; (---) Tie Line Eksperimen ; (—) Persamaan UNIQUAC

Berdasarkan Gambar 1 dan 2 terlihat komposisi keseimbangan untuk sistem pada suhu 303.15 K baik di fase organik maupun di fase aqueous. Untuk sistem DEC (1) + Isobutanol (2) + H<sub>2</sub>O (3) merupakan sistem dengan Treyball tipe II karena sistem tersebut memiliki 2 pasangan senyawa yang tidak larut sempurna yaitu antara DEC (1) + H<sub>2</sub>O (3) dan Isobutanol (2) + H<sub>2</sub>O (3).

Kecenderungan gugus polar -OH di dalam alkohol mempengaruhi besarnya kelarutan Alkohol dengan Air dimana semakin panjang rantai karbon pada alkohol akan mengurangi kelarutannya di dalam air. Dimana rantai karbon merupakan senyawa bersifat hidropobik sedangkan pada gugus OH bersifat hidrofilik sehingga semakin luasnya bagian hidropobik mengakibatkan berkurangnya kelarutan terhadap air. Sedangkan pada Isobutanol terjadi gap kelarutan terhadap Air dan ini terjadi karena luas area gugus alkil yang cukup besar.

Dari diagram LLE tersebut juga dapat disimpulkan bahwa (DEC + Isobutanol) cocok untuk digunakan sebagai aditif untuk blending gasoline, dimana penurunan suhu pada tangki dan storage campuran gasoline tidak akan meningkatkan resiko terjadinya phase-splitting.

Data yang diperoleh untuk sistem dapat digunakan sebagai acuan dalam blending gasoline. Pada umumnya dalam blending gasoline terdiri dari 80-85 % gasoline dan 15-20 % zat aditif (DEC + Alkohol). Dalam hal ini perbandingan komposisi antara DEC dan alkohol dapat ditentukan berdasarkan diagram ternier yang diperoleh untuk sistem. Berdasarkan Gambar 1 dan 2 dapat dilihat bahwa untuk sistem DEC+Isobutanol+H<sub>2</sub>O, campuran gasoline dengan perbandingan DEC:Isobutanol sebesar 4:1 akan mulai terjadi phase-splitting apabila water content pada campuran mencapai 2%. Sehingga dalam perancangan blending gasoline, perbandingan antara DEC dan Alkohol yang digunakan perlu diperhatikan untuk meminimalisir resiko

terjadinya phase-splitting campuran gasoline pada tangki bahan bakar dan storage gasoline.

Berdasarkan Gambar diatas dapat dilihat bahwa persamaan NRTL dan UNIQUAC dapat merepresentasikan data kesetimbangan LLE dengan sangat baik. Hal ini dapat juga dilihat dari nilai RMSD pada sistem DEC + Isobutanol + H<sub>2</sub>O menggunakan persamaan NRTL dan UNIQUAC RMSD sebesar 0.8 %.

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Data kesetimbangan cair-cair yang akurat telah berhasil diperoleh secara eksperimen untuk sistem DEC + Isobutanol + H<sub>2</sub>O pada temperatur 303.15 K pada tekanan atmosfer.
2. Data LLE sistem ternier yang diteliti dapat dikorelasikan dengan baik menggunakan persamaan NRTL dan UNIQUAC dengan RMSD masing-masing 0.8 untuk sistem DEC+ Isobutanol + H<sub>2</sub>O.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Choi, C.H., Reitz, R.Y, *An Experimental Study on The Effects of Oxygenated Fuel Blends and Multiple Injection Strategies on Diesel Engine Emission*, J. Fuel, 1999, 78, 1303-1217.
- [2] Chunlan Peng, Kevin C, Lewis, Fred P. Stein, "Water Solubilities in Blends of Gasoline and Oxygenates", 1996, Fluid Phase Equilib, 116, 437-444.
- [3] Kadarohman A., *Eksplorasi Minyak Atsiri sebagai Bioaditif Bahan Bakar*, Program Study Kimia FMIPA, UPI Bandung, 2003.
- [4] Song, J., *Effect of Oxygenated Fuel on Combustion and Emissions in a Light-Duty Turbo Diesel Engine*, The Pennsylvania State University, Pennsylvania : University Park, 2001.
- [5] Torre, J. D.; Cháfer, A.; Berna, A.; Muñoz, R. *Liquid-Liquid Equilibria of the System Dimethyl Carbonate + Methanol + Water at Different Temperatures*. Fluid Phase Equilib. 2006, 247, 40-46.

**ANALISIS EFEKTIFITAS HHO CARBON CLEANING DENGAN METODE  
PENGOLAHAN CITRA DIGITAL**Azamataufiq Budiprasojo<sup>1\*</sup>, Abdul Ghofur Maliki<sup>1</sup><sup>1</sup>Jurusan Teknik Politeknik Negeri Jember Jl. Mastrip 164 Jember 68124

Email: \*azamataufiq@polije.ac.id

**ABSTRAK**

Karbon merupakan salah satu residu proses pembakaran yang bersifat reaktif serta sifat fisika yang berwarna hitam. Karbon dapat menumpuk di ruang bakar yang menimbulkan penyempitan ruang bakar dan menurunkan performa mesin kendaraan, sehingga kendaraan memerlukan perawatan yang memakan waktu, biaya, serta harus dilakukan oleh teknisi dengan kemampuan khusus. Maka dilakukan upaya untuk melakukan perawatan yang efisien, dengan memanfaatkan sifat reaktif karbon yang akan diikat oleh hidrogen dan oksigen agar tidak menumpuk di ruang bakar, dengan indikasi peningkatan kadar HC dan CO pada gas buang serta pengolahan citra digital visualisasi kandungan karbon di ruang bakar berdasarkan tingkat grayscale pada luas area ruang bakar. Hidrogen dan oksigen yang dimasukkan ke ruang bakar melalui intake manifold berasal dari generator HHO tipe kering. Penambahan gas HHO dilakukan selama sepuluh menit sebanyak tiga kali. Dari pengamatan visual pada ruang bakar dengan pengolahan citra digital, menunjukkan luas area ruang bakar yang mengandung kadar karbon tinggi mengalami penurunan dari pengujian pertama hingga ketiga sebanyak 404 %. Kadar HC dan CO gas buang juga mengalami peningkatan 26 % dan 22 %, yang menunjukkan carbon berikatan dengan hidrogen dan oksigen sehingga terbuang saat langkah ekspansi dan tidak menumpuk di ruang bakar.

Kata Kunci: Karbon, perawatan, generator HHO

**PENDAHULUAN**

Karbon merupakan unsur kimia yang mempunyai simbol C dan nomor atom 6 pada tabelperiodik. Karbon merupakan unsur non-logam dan bervalensi 4 (tetravalen), yang berarti bahwa terdapat empat elektron yang dapat digunakan untuk membentuk ikatan kovalen. Karbon memiliki beberapa jenis alotrop, yang paling terkenal adalah grafit, intan, dan karbon amorf. Sifat-sifat fisika karbon bervariasi bergantung pada jenis alotroponya, karbon yang berasal dari proses pembakaran mesin kendaraan tergolong jenis grafit, yang memiliki sifat fisika berwarna hitam. Residu karbon ini akan menumpuk dalam ruang pembakaran yang dapat mengurangi kinerja mesin. Pada temperatur tinggi residu karbon inidapat membara, sehingga menaikkan temperatur silinder pembakaran. Untuk mengembalikan performa, kendaraan memerlukan perawatan. Dalam perawatan terdapat beberapa pekerjaan berupa pemeriksaan, pengukuran dan pencocokan dengan standar pabrik, penyetelan, perbaikan, perawatan dan atau penggantian komponen jika diperlukan. Perawatan manual yang dilakukan memakan waktu dan biaya tinggi serta harus dilakukan oleh tenaga kerja dengan

kemampuan khusus. Sehingga diperlukan solusi perawatan yang lebih efisien. Dengan memanfaatkan sifat karbon yang reaktif, maka penumpukan karbon dapat diatasi dengan mengikat karbon menggunakan hidrogen dan oksigen. Hidrogen dan oksigen dapat diperoleh dari proses elektrolisis air pada generator HHO yang memiliki dua tipe, yakni tipe basah dan tipe kering. Generator HHO tipe basah menggunakan elektroda yang seluruh luasannya terendam oleh larutan elektrolit. Sedangkan tipe kering menggunakan elektroda yang hanya sebagian luasannya terendam larutan elektrolit. Generator gas HHO tipe kering memiliki efisiensi lebih tinggi dibanding generator HHO tipe basah (yanur). Dengan penambahan gas HHO saat proses pembakaran diharapkan carbon dapat terikat dan ikut terbuang saat proses ekspansi. Sehingga karbon tidak menumpuk di ruang bakar dan kandungan karbon di ruang bakar menurun. Menurunnya kandungan karbon di ruang bakar dapat dipantau dengan memanfaatkan sifat fisika karbon yang berwarna hitam. Pemantauan kandungan karbon dapat diukur dengan pengolahan citra digital pada visualisasi ruang bakar. Pengolahan ini memanfaatkan pembagian luas area dari seluruh

visualisasi ruang bakar berdasarkan tingkat grayscale. Semakin rendah nilai grayscale maka semakin hitam visualisasi ruang bakar, yang menandakan semakin banyak kandungan karbon di ruang bakar. Kemampuan mengikat karbon juga dapat dipantau dari kadar HC dan CO pada gas buang. Dimana bila kadar HC dan CO meningkat maka hidrogen dan oksigen mampu mengikat karbon yang ada di ruang bakar. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efektifitas gas HHO dalam membersihkan karbon di ruang bakar. Dengan menambahkan gas HHO saat proses pembakaran melalui intake manifold.

### METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental. Dengan cara ini akan diuji efektifitas dari penambahan gas HHO dalam membersihkan kandungan karbon di ruang bakar. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mesin Otomotif Politeknik Negeri Jember pada bulan Juni – Agustus 2019.

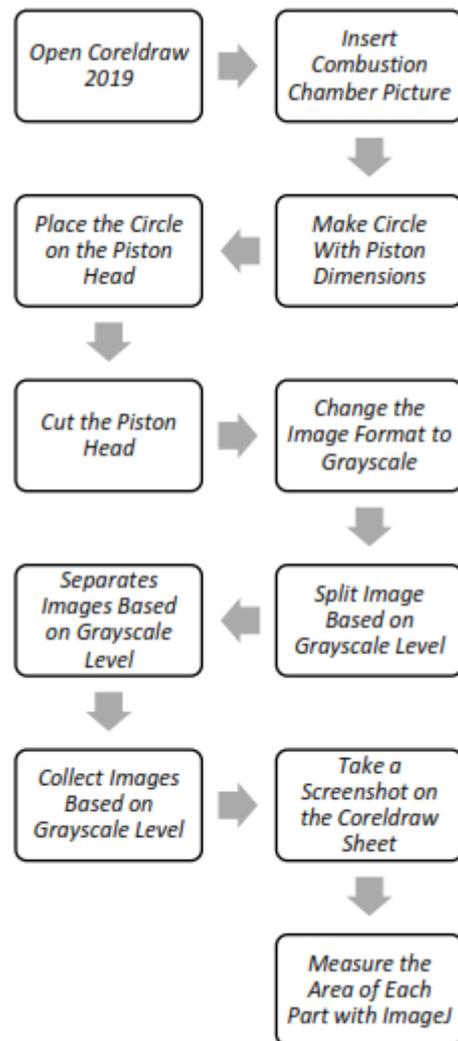
Peralatan dan bahan yang digunakan dalam pengujian adalah sebagai berikut:

- Generator HHO tipe kering dengan elektroda aluminium 200 mm X 180 mm X 2mm
- Elektrolit perpaduan 1 liter aquades dengan 25 gram KOH
- Tool set Hazet
- Power supply DC 12 V 30 A
- Suzuki RC Bravo 100 cc
- Kamera Sony XZ 23 mp
- Apk Coreldraw 2019
- Apk ImageJ

Prosedur Pengujianya :

- Mempersiapkan bahan dan alat yang digunakan untuk penelitian;
- Merakit generator HHO yang telah dirancang
- Menguji emisi gas buang kendaraan
- Membongkar kepala silinder kendaraan uji untuk visualisasi ruang bakar sebelum penambahan gas HHO
- Memasang kembali kepala silinder kendaraan uji
- Memasang instalasi generator HHO pada kendaraan uji
- Mengisi generator HHO dengan larutan elektrolit
- Menghubungkan generator HHO dengan sumber daya AC
- Menghidupkan generator HHO dengan menekan tombol power
- Menghidupkan kendaraan uji selama 10 menit dan melakukan pengujian emisi
- Mematikan kendaraan uji dan generator HHO
- Membongkar kepala silinder kendaraan uji untuk visualisasi kandungan karbon
- Mengulang langkah h – k sebanyak 3 kali

- Setelah didapat data visualisasi kandungan karbon di ruang bakar dilakukan pengolahan citra digital dengan Coreldraw 2019.



Gambar 1. Prosedur Pengolahan Citra Digital

Prosedur Pengolahan Citra Digital :

- Membuka aplikasi Coreldraw 2019
- Membuka new document
- Memasukkan gambar visualisasi ruang bakar
- Membuat lingkaran dengan klik ellipse tool dengan diameter 52,5 mm sesuai ukuran piston
- Menempatkan lingkaran di atas gambar ruang bakar pada bagian kepala piston
- Mengambil bagian kepala piston dari gambar 3 dengan memblok gambar ruang bakar dan lingkaran kemudian klik intersect dan seret bagian kepala piston ke samping
- Mengubah gambar kepala piston menjadi grayscale dengan klik bitmaps – convert to bitmap – ubah color mode menjadi grayscale (8-bit) – ok
- Membagi gambar kepala piston berdasarkan tingkat grayscale-nya dengan klik bitmaps – outline trace – low quality image – ok

- i. Memisah gambar kepala piston berdasarkan tingkat grayscalenya dengan klik ungroup objects – intersect
- j. Mengelompokkan gambar kepala piston berdasarkan tingkat grayscalenya dengan klik eye dropped tool dan meletakkannya pada bagian kepala piston untuk mengetahui nilai grayscale dari tiap – tiap bagian kepala piston
- k. Melakukan tangkap layar pada lembar Coreldraw yang menampilkan pengelompokan bagian piston
- l. Setelah dilakukan pengolahan citra digital dilakukan pengukuran luas area dari bagian – bagian kepala piston dan kepala silinder dengan ImageJ

**Prosedur Pengukuran Luas Area**

- a. Membuka aplikasi ImageJ
- b. Memasukkan hasil tangkapan layar dari halaman Coreldraw
- c. Memoting bagian dari hasil tangkapan layar yang akan diukur dengan klik rectangle – pilih bagian yang akan diukur dengan mengikutkan ruller dari Coreldraw – klik (ctrl + shift + x)
- d. Menentukan skala gambar dengan klik straight – buat garis pada ruller coreldraw sepanjang 10mm – analyze – set scale – ubah known distane menjadi 10 – ubah unit of lenght menjadi mm– centang global – ok
- e. Memilih bagian kepala silinder yang akan diukur dengan klik analyze – tool – ROI manager – wand tool – klik bagian yang akan diukur satu persatu – add – setelah seluruh bagian dipilih klik measure maka akan muncul data dari pengukuran luas area masing –masing bagian
- f. Dari data luas area yang didapat dilakukan pembahasan dan analisa

**HASIL DAN PEMBAHASAN**  
**Hasil Visualisasi Ruang Bakar**

Hasil visualisasi ruang bakar sebelum dan sesudah penambahan gas HHO dengan menggunakan kamera Sony XZ 23 mp sebagai berikut.

Tabel 1. Visualisasi Ruang Bakar Kepala Piston

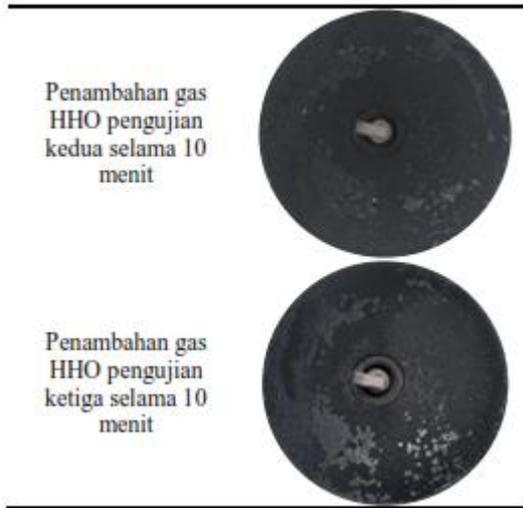
Pengujian	Visualisasi Ruang Bakar Kepala Piston
Tanpa penambahan gas HHO	

Penambahan gas HHO pengujian pertama selama 10 menit	
Penambahan gas HHO pengujian kedua selama 10 menit	
Penambahan gas HHO pengujian ketiga selama 10 menit	

Tabel 1 menunjukkan hasil visualisasi kandungan karbon diruang bakar pada bagian kepala piston. Dimana terdapat penurunan kehitaman dari kepala piston saat kondisi awal hingga setelah penambahan gas HHO pada pengujian ketiga.

Tabel 2. Visualisasi Ruang Bakar Kepala Silinder

Pengujian	Visualisasi Ruang Bakar Kepala Silinder
Tanpa penambahan gas HHO	
Penambahan gas HHO pengujian pertama selama 10 menit	



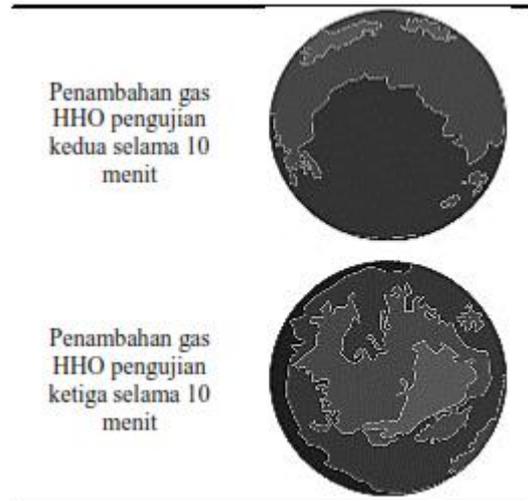
Tabel 2 menunjukkan hasil visualisasi kandungan karbon diruang bakar pada bagian kepala silinder. Dimana terdapat juga penurunan kehitaman dari kepala silinder saat kondisi awal hingga setelah penabahan gas HHO pada pengujian ketiga. Dari data visualisasi kandungan karbon diruang bakar dilakukan pengolahan citra digital untuk membagi bagian ruang bakar berdasarkan tingkat *grayscale* yang ada.

#### Hasil Pengolahan Citra Digital

Dalam pengolahan citra digital yang menggunakan Coreldraw 2019 dapat diketahui pemisahan dari bagian ruang bakar berdasarkan tingkat *grayscale* bagian tersebut. Berikut adalah hasil dari pengolahan citra digital pada kepala silinder dan kepala piston.

Tabel 3. Hasil Pengolahan Citra Digital Kepala Piston

Pengujian	Visualisasi Ruang Bakar Kepala Piston
Tanpa penambahan gas HHO	
Penambahan gas HHO pengujian pertama selama 10 menit	



Tabel 3 merupakan hasil pengolahan citra digital pada kepala piston yang menunjukkan pembagian kepala piston berdasar tingkat *grayscale*nya.

Tabel 4. Hasil Pengolahan Citra Digital Kepala Piston

Pengujian	Visualisasi Ruang Bakar Kepala Silinder
Tanpa penambahan gas HHO	
Penambahan gas HHO pengujian pertama selama 10 menit	
Penambahan gas HHO pengujian kedua selama 10 menit	
Penambahan gas HHO pengujian ketiga selama 10 menit	

Tabel 4 merupakan hasil pengolahan citra digital pada kepala piston yang menunjukkan pembagian kepala piston berdasar tingkat *grayscale*nya. Sehingga dapat dilakukan pengukuran luas area dari masing – masing bagian tersebut agar dapat diketahui secara kuantitatif besaran dari penurunan kandungan karbon berdasarkan tingkat *grayscale* pada tiap bagian. Pengukuran luas area ini menggunakan aplikasi ImageJ, karena tiap area memiliki bentuk yang tidak beraturan.

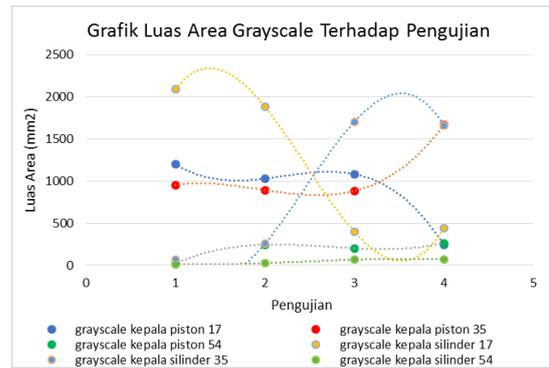
### Hasil Pengukuran Luas Area Berdasarkan Tingkat *Grayscale*

Pengukuran luas area ini dikelompokkan menjadi tiga tingkat *grayscale* yang muncul pada visualisasi kandungan karbon diruang bakar dengan hasil sebagai berikut

Tabel 5. Hasil Perhitungan Luas Area Berdasarkan Tingkat *Grayscale*

Kondisi Ruang Bakar	Luas Area Berdasarkan <i>Grayscale</i> (mm <sup>2</sup> )		
	17	35	54
Kondisi Awal Kepala Piston Pengujian	1201,07	952,99	16,25
Pertama Kepala Piston Pengujian	1030,71	893,79	245,44
Kedua Kepala Piston Pengujian	1082,99	884,71	202,81
Ketiga Kepala Piston Pengujian	238,11	1668,66	263,56
Kondisi Awal Kepala Silinder Pengujian	2092,75	67,13	10,72
Pertama Kepala Silinder Pengujian	1884,86	258,95	26,39
Kedua Kepala Silinder Pengujian	398,21	1706,76	65,90
Ketiga Kepala Silinder Pengujian	440,98	1660	69,04

Setelah dilakukan perhitungan luas area berdasarkan tingkat *grayscale* didapat tiga tingkatan yang ada yakni bernilai 17, 35, dan 54 dimana nilai *grayscale* 17 merupakan tanda kandungan karbon yang tinggi, sedangkan nilai *grayscale* 35 memiliki kandungan karbon menengah dan nilai *grayscale* 54 memiliki kandungan karbon yang rendah. Untuk proses analisa data diatas akan ditampilkan dalam bentuk grafik dibawah ini:



Gambar 2. Grafik Hubungan Luas Area *Grayscale* Terhadap Pengujian

Dari grafik diatas terjadi penurunan luas area pada tingkat *grayscale* 17 seiring dengan berjalannya pengujian, hal ini menunjukkan bahwa kandungan karbon di kepala piston mengalami penurunan. Kemudian pada tingkat *grayscale* 35 mengalami penurunan dari kondisi awal hingga pengujian kedua namun meningkat drastis pada pengujian ketiga, ini diimbangi dengan area tingkat *grayscale* 17 yang juga mengalami penurunan drastis. Juga pada tingkat *grayscale* 54 mencapai jumlah tertinggi di pengujian ketiga ini yakni sebesar 263,568 mm<sup>2</sup>. Dengan menurunnya luas area yang mengindikasikan kadar karbon tinggi dan meningkatnya luas area dengan indikasi kadar karbon rendah, maka seiring dikakukan pengujian, kadar karbon di ruang bakar berkurang. Puncaknya terjadi pada pengujian ketiga.

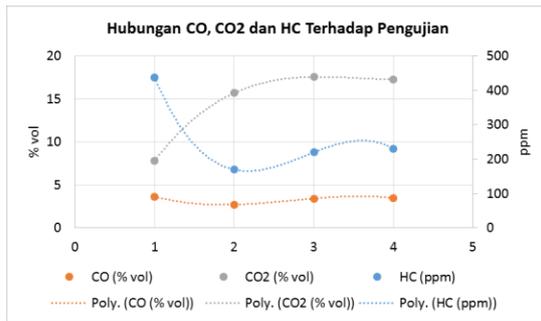
### Hasil pengukuran Emisi Gas Buang

Pengukuran emisi gas buang untuk membantu membuktikan unsur karbon berhasil terikat dengan hidrogen dan oksigen yang ditambahkan. Berikut adalah data yang didapatkan.

Tabel 6. Hasil Pengujian Emisi Gas Buang

Pengujian	HC (ppm)	CO (% vol)	CO2 (% vol)
1	438	3,66	7,79
2	170	2,73	15,69
3	220	3,44	17,56
4	231	3,5	17,29

Tabel 8 menunjukkan hasil dari pengujian emisi gas buang yang telah dilakukan dimana 1 merupakan pengujian tanpa penambahan gas HHO, 2 pengujian dengan penambahan gas HHO pertama, 3 pengujian dengan penambahan gas HHO kedua dan 4 pengujian dengan penambahan gas HHO ketiga.



Gambar 3. Grafik Hubungan CO, CO2 dan HC Terhadap Pengujian

Pada gambar 3 terlihat adanya peningkatan kadar CO<sub>2</sub> dari pengujian 1 hingga 3, hal ini menunjukkan penambahan gas HHO membantu menyempurnakan pembakaran. Pada pengujian 2 hingga 4 kadar CO dan HC pada gas buang mengalami peningkatan, yang menandakan unsur karbon dalam ruang bakar berhasil terikat dengan hidrogen dan oksigen. Sehingga unsur karbon tidak menumpuk di ruang bakar, melainkan ikut terbuang saat langkah buang.

#### KESIMPULAN

Dari hasil penelitian penggunaan gas HHO dari generator HHO tipe kering untuk membersihkan kandungan karbon di ruang bakar yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa gas HHO mampu membersihkan kadar karbon di ruang bakar. Hasil perhitungan luas area ruang bakar berdasarkan tingkat *grayscale* menunjukkan penurunan pada luas area yang memiliki nilai *grayscale* 17 dari kondisi awal hingga pengujian ketiga. Serta kenaikan luas area dari bagian yang memiliki tingkat *grayscale* 35 dan 54. Sehingga ini membuktikan bahwa karbon dalam ruang bakar terikat oleh unsur hydrogen dan oksigen lalu ikut terbuang melalui *exhaust* dan tidak lagi menumpuk di dalam ruang bakar.

#### SARAN

Saran yang dapat diajukan agar percobaan berikutnya dapat lebih baik dan dapat menyempurnakan percobaan yang telah dilakukan dalam penelitian ini, yaitu: perlu adanya pengambilan gambar visual dari ruang bakar dengan menggunakan resolusi kamera lebih tinggi.

Sehingga dalam pengolahan citra digital gambar yang ada lebih tajam. Serta pengaplikasian gas HHO pada kendaraan yang berbeda, agar dapat terbukti efektifitas gas HHO dalam membersihkan karbon di ruang bakar pada berbagai kendaraan yang sudah diproduksi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Afandi, Salimin, dan Jeny Delly. 2018 7 "Pengaruh Pemamfaatan Faba (Fly Ash And Bottom Ash) Terhadap Laju Perpindahan Panas Pada Tungku Arang" Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin Vol. 3, No. 1
- [2] Ardiansyah, Muhammad. 2013. "Analisa Penambahan Gas Hasil Elektrolisis Air Pada Motor 4 Langkah Dengan Posisi Injeksi Sebelum Karburator Disertai Variasi Derajat Timing Pengapian". Skripsi. Teknik Mesin Universitas Indonesia.
- [3] Arifin, T., B. Rudiyanto dan Y. Susmiati. 2015. "Studi Penggunaan Plat Elektroda Netral Stainless Steel 316 Dan Aluminium Terhadap Performa Generator HHO Tipe Dry Cell". Dalam jurnal RONA TEKNIK PERTANIAN. Hal 116-129.
- [4] Diaz Hartadi, Sumardi, R. Rizal Isnanto 2004, "Simulasi Perhitungan Jumlah Sel Darah Merah Transmisi". Vol. 8, No. 2, 1-6
- [5] EL-Kassaby, M. M. and Yehia. 2015. "Effect of Hidroxy (HHO) Gas Addition on Gasoline Engine Performance and Emissions". In Alexandria Engineering Journal 55, 243-251.
- [6] Hidayat, R. 2013. "Pengertian Perawatan". Dalam Blog Kita Punya <https://www.kitapunya.net>. [18 Januari 2019].
- [7] MahendroSigit, 2014. "Analisis PenggunaanElektroliser TerhadapEmisi Gas Buang CO Dan HC Pada Sepeda Motor 4 Langkah Merk Suzuki Shogun 125cc Tahun Pembuatan 2010".Jurnal Teknik Mesin. Hal.28-29.
- [8] Masliyanto, F.Y.2017. "Pengaruh Penambahan Gas HHO Terhadap Emisi Gas Buang Motor Bensin 4 Langkah". Skripsi.Universitas Nusantara PGRI Kediri.
- [9] Murjito, 2013. "Rancang Bangun Electrolyzer Sistem Dry Cell Untuk Penghematan Bahan Bakar Kendaraan Bermotor". Dalam jurnal GAMMA,9. Hal 179-186.

## PENGARUH PENAMBAHAN FRAKSI MOL KARBON AKTIF PADA CAIRAN JERUK NIPIS TERHADAP RESPON TEGANGAN

Muhammad Agung Amiruddin<sup>1\*</sup>, I.N.G. Wardana<sup>2</sup>, Yudy Surya Irawan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang

Email: \*agungoto@yahoo.co.id

### ABSTRAK

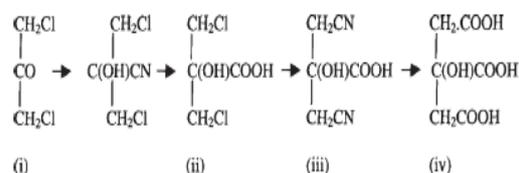
Cairan jeruk nipis dalam sel volta dapat menjadi solusi sebagai energi terbarukan dan ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengamati karakteristik nilai tegangan yang di hasilkan dengan penambahan karbon aktif. Karbon aktif merupakan katalis polar yang memiliki kemampuan untuk menginduksi suatu molekul sehingga menjadi ion positif dan negatif. Cairan jeruk nipis mengandung gugus aseton ( $C_3H_5O$ ) dan 3 gugus asam karboksilat ( $COOH$ ). Instalasi percobaan menggunakan metode sel volta dimana elektroda terdiri dari seng ( $Zn$ ) sebagai anoda dan tembaga ( $Cu$ ) sebagai katoda. Pengujian dilakukan dengan membandingkan antara cairan jeruk nipis murni dan cairan jeruk nipis dengan tambahan 5 gram karbon aktif dimana setiap elektrolit berisi 100 ml dan 125 ml perasan jeruk nipis. Dari pengamatan diperoleh hasil bahwa cairan elektrolit jeruk nipis murni menghasilkan nilai tegangan yang fluktuatif antara 0.67-0.74 Volt. Sedangkan cairan elektrolit jeruk nipis dengan penambahan 5 gram karbon aktif menghasilkan voltase antara 0.79-0.86 Volt.

Kata Kunci: Elektrolit, Jeruk nipis, sel volta

### PENDAHULUAN

Energi baru terbarukan sangat diperlukan saat ini. Diperkirakan kebutuhan terhadap energi semakin meningkat berdasarkan asumsi sosial, ekonomi dan perkembangan teknologi kedepannya. Pada tahun 2016 sebanyak 75% sumber energi berasal dari energi fosil yang merupakan penyuplai terbanyak energi saat ini baik di dunia maupun di Indonesia. Dimana bahan bakar minyak, batu bara, dan bahan bakar gas merupakan hasil dari produksi energi fosil[1]. Perpindahan lokasi pada pemanasan permukaan bumi menyebabkan pergerakan matahari setiap 3 bulan. Di tunjang dengan wilayah Indonesia pada daerah khatulistiwa serta keadaan geografis wilayah indonesia mengalami dua musim dalam satu tahun yaitu musim hujan dan musim kemarau[2].

Buah jeruk merupakan alternatif cairan elektrolit karena mengandung senyawa asam sitrat ( $C_6H_8O_7$ ). Jeruk nipis sendiri tetap merupakan produk penting. Rata-rata produksi jeruk nipis dunia sekitar 3,3 juta metrik ton atau sekitar 75 persen datang dari Amerika Serikat, Italia, Spanyol dan Argentina, dengan sisanya dari sekitar 15 produser lainnya negara.



Gambar 1. Sintesis Jeruk

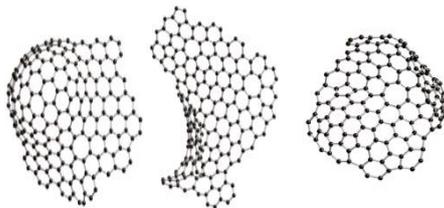
Asam sitrat telah disintesis dari gliserol oleh Grimoux dan Adams (1880) dan kemudian dari dichloroacetone simetris (i) dengan mengolahnya dengan hidrogen sianida dan hidroklorik asam untuk menghasilkan asam dikloroasetonat (ii), dan mengubahnya menjadi asam dicyano-asetonat (iii) dengan kalium sianida, yang pada hidrolisis menghasilkan asam sitrat (iv), seperti yang ditunjukkan pada gambar di atas [3].

Untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil yang sudah mulai berkurang maka negara Indonesia mengoptimalkan pengembangan energi baru terbarukan (EBT) adalah energi biomas. Energi biomas merupakan energi yang bersih dan ramah lingkungan. Di dunia ini telah banyak dilakukan penelitian tentang pemanfaatan energi baru terbarukan misalnya dengan menggunakan sifat asam buah dapat menghasilkan tegangan dan kuat arus listrik. Buah jeruk adalah salah satu jenis asam

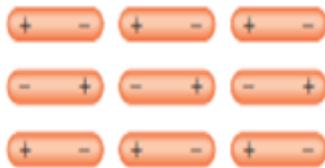
buah yang telah dicoba dan memiliki tegangan dengan nilai ph sekitar 2 sampai 5 [4].

Pembentukan energi sel volta dari asam buah sangat dibutuhkan sehingga dalam implikasinya, pemanfaatan sebagai sumber energi harus di lakukan dengan berbagai metode yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik. Dalam penelitian ini akan dianalisis mekanisme terjadinya sumber tegangan menggunakan metode sel volta dengan mereaksikan *defect* pada *graphene* dalam karbon aktif dengan cairan asam buah sehingga mampu menaikkan tegangan.

Secara lengkap pengaktifan fisika dari karbon terdiri dari 3 proses yaitu dehidrasi, karbonisasi, dan aktivasi [5]. Karbon dihasilkan setelah mendapatkan perlakuan panas pada suhu 20000 C. Dalam suhu 20000 C bukti karbon C ditemukan untuk keberadaan cincin pentagonal yang menunjukkan bahwa karbon memiliki struktur yang berhubungan dengan *fullerene*. Struktur seperti itu akan membantu menjelaskan sifat-sifat karbon aktif, dan juga akan memiliki implikasi penting untuk pemodelan adsorpsi pada karbon mikro[6].



Gambar 2. Ilustrasi fragmen karbon melengkung, mengandung cincin pentagonal dan heptagonal serta segi enam.



Gambar 3. Dipol

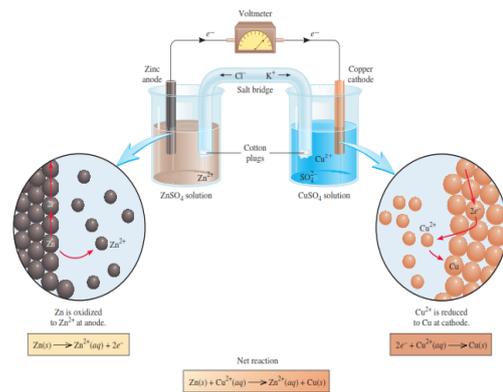
Gambar di atas menjelaskan molekul permanen momen dipol cenderung meluruskan dengan polaritas yang berlawanan dan fase padat untuk maksimum interaksi yang menarik .

Jika terjadi peningkatan tegangan pada sel maka akan menjadi sel elektrolisis dan jika terjadi penurunan sel maka disebut sel galvanic [7].

Proses elektrokimia membutuhkan media pengantar sebagai tempat terjadinya serah terima elektron dalam suatu sistem reaksi yang dinamakan cairan. Ion-ion terlarut yang dapat mengantarkan arus listrik sehingga proses serah terima elektron berlangsung cepat dan energi yang dihasilkan relatif besar[8].

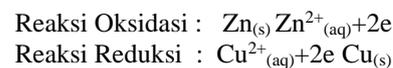
Jika elektrolitnya berbeda, dua kompartemen mungkin menjadi bergabung dengan adanya jembatan garam, yang merupakan tabung yang mengandung cairan elektrolit pekat yang melengkapi listrik sirkuit dan memungkinkan sel berfungsi[9].

Galvanik sel atau sel volta merupakan Peralatan eksperimental untuk menghasilkan listrik melalui penggunaan reaksi spontan. Para ilmuwan Italia Luigi Galvani dan Alessandro Volta, yang membuat versi awal perangkat ini untuk menunjukkan komponen-komponen penting dari sel galvanik[10].



Gambar 4. Sel Volta

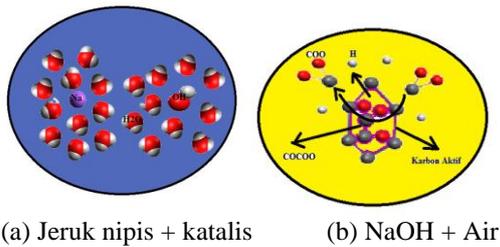
dimana sebuah elektroda seng (Zn) yang sudah dimasukkan kedalam sebuah cairan tembaga (Cu) Maka akan mengalami reaksi reduksi oksidasi sebagai berikut:



Perpindahan komponen dari satu terminal/kutub ke terminal/kutub lain atau elemen pada suatu muatan yang melakukan pergerakan untuk kerja disebut dengan tegangan. Ketertarikan antara kerja yang di hasilkan sebenarnya adalah energi yang di keluarkan sehingga dapat di persingkat bahwa tegangan adalah energi persatuan muatan [11].

### METODOLOGI PENELITIAN

Metode dalam penelitian ini adalah eksperimental langsung yaitu pengujian dilakukan secara langsung pada objek yang diteliti. Pengujian dilakukan di laboratorium teknik mesin Universitas Brawijaya. Variabel dalam penelitian ini terdiri atas variabel terikat yaitu tegangan yang dihasilkan, variabel bebas yakni berat karbon aktif sebesar 5 gram yang di larutkan dalam cairan jeruk nipis dan jumlah mol jeruk nipis yang melarutkan 100 ml dan 125 ml beserta variabel kontrol yang mencakup NaOH 10 gram yang di larutkan dalam air 100 ml.

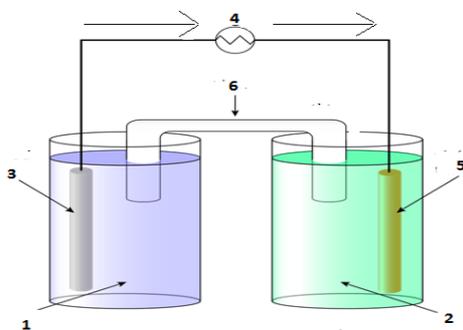


Gambar 5. Ilustrasi Molekul

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam pengujian adalah sebagai berikut:

- PH Meter Digital untuk mengetahui Ph cairan
- Timbangan digital
- Gelas Ukur
- Salt Bridge
- Digital Multimeter
- Plat Seng
- Plat Tembaga
- Pemasas Buah
- Jeruk Nipis
- NaOH
- Air
- Karbon Aktif
- Kabel

### Instalasi penelitian



Gambar 6. Instalasi Penelitian

Keterangan :

1. Karbon Aktif yang dilarutkan dalam perasan jeruk nipis ( $C_6H_8O_7$ )
2. NaOH yang dilarutkan dalam Air
3. Anoda Seng (Zn)
4. Aliran elektron
5. Katoda tembaga (Cu)
6. Saltbridge

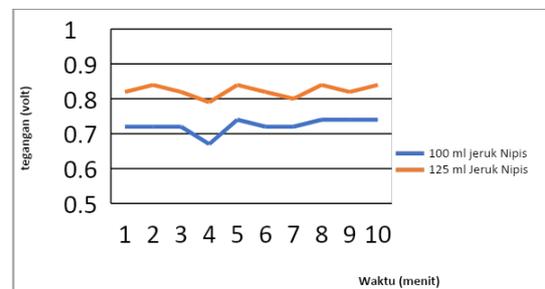
Prosedur Pengujian

- Mempersiapkan bahan dan alat yang digunakan untuk penelitian;
- Meletakkan benda kerja yang sesuai di atas meja.

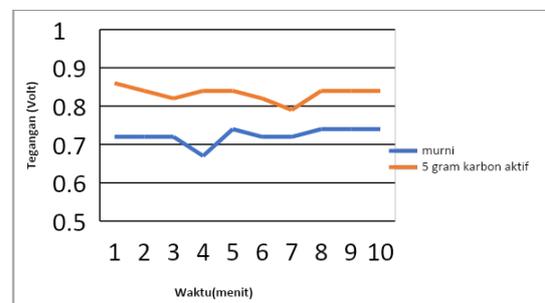
- Mencampur cairan sesuai dengan ukurannya.
- Memasang elektroda dan jembatan garam.
- setelah semua telah terangkai maka kita mengukur dengan menggunakan multimeter.
- Setelah selesai pengujian kemudian dilakukan pengambilan data dan pembuatan pembahasan pada rangkaian yang telah diuji;
- Kemudian dari pembahasan tersebut diambil kesimpulan dari hasil penelitian.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data yang didapat dari hasil pengamatan kemudian dilakukan analisa dan perhitungan untuk memperoleh nilai parameter tegangan. Data hasil pengujian dan pengolahan dimuat dalam bentuk grafik hubungan antara variabel – variabel yang ada dalam penelitian yaitu penambahan mol perasan jeruk nipis, dan penambahan mol karbon aktif.



(a) Cairan 100 ml dan 125 ml cairan jeruk nipis



(b) Cairan jeruk nipis 100 ml dan tambahan 5 gram karbon aktif

Gambar 7. Grafik tegangan terhadap waktu yang di hasilkan

Gambar (a) dapat diamati pada volume cairan 125 ml tegangan yang dihasilkan cenderung stabil meski ada terjadi fluktuasi selama waktu pengamatan. Tegangan paling tinggi diperoleh pada menit ke 2 yaitu sebesar 0,84 Volt dan paling rendah pada menit ke 4 yaitu sebesar 0,79 Volt. Sementara itu pada volume cairan 100 ml tegangan paling rendah diperoleh pada menit ke 4 sebesar 0,68 Volta dan paling tinggi pada menit ke 5 sebesar 0,74 Volt.

Gambar (b) menunjukkan respon tegangan dari elektrolit yang di hasilkan dari penambahan 5 gram katalis karbon aktif dalam cairan jeruk nipis.

Dapat diamati pada volume cairan 100 ml dengan penambahan karbon aktif tegangan yang dihasilkan cenderung stabil meski ada terjadi fluktuasi selama waktu pengamatan. Tegangan paling tinggi diperoleh pada menit ke yaitu sebesar 0,86 Volt dan paling rendah pada menit ke 7 yaitu sebesar 0,79 Volt. Hasil yang di peroleh dari percobaan ini adalah cairan 100 ml jeruk nipis (0,67v - 0,74v), 125 ml cairan jeruk nipis (0,79v - 0,84v), dan cairan 100 ml jeruk nipis yang ditambahkan katalis 5 gram karbon aktif menghasilkan (0,79v -0,86v).

Karbon aktif mempunyai sifat keelektromagnetan dengan kepolaran yang berlawanan karena adanya dipol-dipol pada karbon aktif yang bermuatan positif dan negatif. Penambahan karbon aktif ini bertujuan menginduksi molekul  $C_6H_8O_7$  sehingga menjadi ion-ion  $C_3H_5O(COO)_3^-$  dan  $3H^+$  yang ada pada cairan jeruk nipis karena jeruk nipis sendiri terdiri dari beberapa unsur atom dan merupakan asam lemah sehingga penambahan katalis karbon aktif dapat menaikkan respon tegangan dari cairan jeruk nipis.

#### KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dengan metode sel volta yang telah di lakukan dengan pencampuran jeruk nipis dan katalis karbon aktif dengan masa jenis 5 gram maka dapat disimpulkan bahwa pengaruh momen dipol yang ada pada karbon aktif membantu proses pemisahan atom yang ada pada molekul yang terkandung dalam jeruk nipis sehingga dapat meningkatkan tegangan yang di hasilkan. Dari hasil yang di peroleh dengan penambahan karbon aktif pada cairan jeruk nipis dapat menghasilkan tegangan (0,79v - 0,86v).

#### SARAN

Saran yang dapat diajukan agar percobaan berikutnya dapat lebih baik dan dapat menyempurnakan percobaan yang telah dilakukan

dalam penelitian ini, yaitu: perlu adanya pengembangan penelitian khususnya untuk variasi penambahan katalis.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian ESDM RI. *Handbook Energy & Economic Statistics Of Indonesia*. Jakarta: Kemntrian ESDM.(2017).
- [2] Dida, Hero P. Sudjito Suparman. dan Denny Widhiyanuriyawan. 2016. *Pemetaan Potensi Energi Angin di Perairan Indonesia Berdasarkan Data Satelit QuikScat dan WindSat*. Jurnal Rekayasa Mesin Vol.2 Tahun 2016: 95-101
- [3] Kristianten, Bjorn., Miccaer Matthey., Joan luden. 2012. *Citrit acid bhiotechnology*.uk. Taylor and francis.
- [4] Atina. 2015. *Tegangan dan kuat arus listrik dari asam buah*. Sainmatika vol 2 Tahun 2015: 28-42.
- [5] Iqbalidin, M,N et al (2013), '*Properties of coconut shell activated carbon*', journal of tropical forest science, vol. 25, no. 4, hh. 497-503.
- [6] Harris, Peter J F., Zheng Liu., and Kazu Suenaga.(2008). *Imaging the atomic structure of activated carbon*. Journal Of Physics: Condensed Matter
- [7] Martime. G, Robert (2010). *Physical chemistry*, academic press is an imprint of elsevier.
- [8] Harahap, Muhammad Ridwan. 2016. *Sel elektrokimia- karakteristik dan aplikasi.*, circuit vol 2 Tahun 2016:2460-5476.
- [9] Atkins Peter., Julio De Paula.1996. *Physical chemistry*. ,new york., gretat britanby oxford.
- [10] Chang, Raymond 2006, *General chemistry*. New york. Higer education.
- [11] Ramdhani, Mohamad(2005)., *Dasar Listrik.*, Laboratoria Sistem Elektronika Jurusan Teknik Elektro Sekolah Tinggi Teknologi Telkom.

## PERANAN VARIASI DIAMETER LUBANG *NOZZLE* TERHADAP KARAKTERISTIK PEMBAKARAN SPRAY BODIESEL MINYAK JELANTAH

Wigo Ardi Winarko<sup>1\*</sup>, M. Asif<sup>1</sup>, Dony Perdana<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Maarif Hasim Latif

<sup>2</sup>Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Maarif Hasim Latif

Email: \*wigoardi13@gmail.com

### ABSTRAK

Minyak bumi sebagai sumber utama bahan bakar mengakibatkan cadangan minyak bumi mengalami penurunan. Perlu adanya alternatif untuk mengganti atau paling tidak menghemat cadangan minyak bumi dengan bahan bakar alternatif. Salah satu bahan bakar alternatif adalah biodiesel dari minyak jelantah. Disisi lain minyak jelantah juga dapat mencemari lingkungan apabila dibuang secara sembarangan. Bahan bakar biodiesel minyak jelantah memiliki viskositas, densitas dan flashpoint yang lebih tinggi dari solar, maka sifat – sifat tersebut dapat mengakibatkan proses deformasi biodiesel minyak jelantah akan menjadi lebih sulit. Karakteristik spray dapat mempengaruhi efisiensi pembakaran yang terjadi. Untuk mengetahui tingkat efisiensi bahan bakar biodiesel minyak jelantah maka dalam penelitian ini dilakukan variasi nozzle agar dapat mengetahui efisiensi yang terbaik. Untuk mendapatkan pembakaran yang sempurna, dalam penelitian ini menggunakan metode pembakaran spray/difusi dengan menggunakan variasi diameter nozzle 0,2 mm, 0,4 mm dan 0,6 mm dengan bentuk spray solid cone dan tekanan yang diberikan kepada nozzle konstan 50 bar untuk mengetahui sudut spray, panjang nyala api dan diameter droplet yang dihasilkan. Dari penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa terjadi peningkatan diameter droplet pada saat diameter nozzle diperbesar. Besar sudut spray yang dihasilkan berbanding lurus dengan meningkatnya diameter nozzle. Sedangkan panjang nyala api yang dihasilkan mengalami penurunan pada saat diameter nozzle semakin besar.

Kata Kunci: biodiesel, *droplet*, *nozzle*, *spray*

### PENDAHULUAN

Karena semakin menipisnya cadangan minyak dunia dan dampak pencemaran lingkungan dari peningkatan emisi gas buang, kebutuhan mendesak untuk bahan bakar alternatif yang cocok untuk digunakan dalam mesin diesel. Dalam pandangan ini, minyak nabati adalah alternatif yang menjanjikan karena memiliki beberapa keunggulan. minyak nabati adalah energi terbarukan, ramah lingkungan dan diproduksi dengan mudah di mana dalam kebutuhan yang mendesak dalam bentuk energi terbarukan [1-5]. Oleh karena itu, dalam beberapa tahun terakhir upaya sistematis telah dilakukan oleh beberapa peneliti [6-9] untuk menggunakan minyak nabati sebagai bahan bakar mesin diesel.

Salah satunya adalah biodiesel dari minyak jelantah, Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif pengganti solar yang sangat potensial sebagai bahan bakar mesin diesel [10,19] namun pemanfaatan biodiesel menjadi bahan bakar alternatif masih memiliki beberapa kendala. Viskositas yang tinggi dari minyak nabati adalah

salah satu masalah utama dalam penerapannya pada mesin pembakaran dalam sebagai bahan bakar pengganti minyak bumi [11] Disisi lain minyak jelantah perlu dimanfaatkan karena keberadaannya yang dapat mencemari lingkungan apabila dibuang secara sembarangan. Biodiesel merupakan bioenergi yang baru dan terbarukan yang dapat dikembangkan di Indonesia karena masih banyak minyak jelantah yang terbuang sia-sia dan belum dimanfaatkan secara maksimal, Minyak nabati yang berasal dari tumbuhan dipilih karena mampu mengurangi emisi CO<sub>2</sub> bersih ke atmosfer [12].

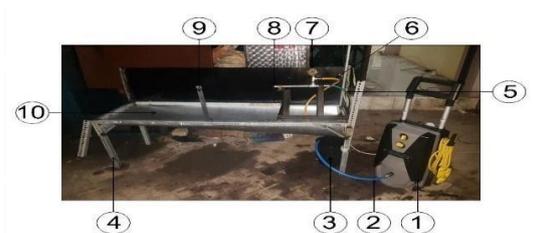
Maka perlu dilakukan penelitian agar biodiesel minyak jelantah dapat dimanfaatkan sebagai pengganti solar, dengan harapan mesin-mesin industry dan transportasi tidak memanfaatkan minyak bumi secara terus menerus. Karena bahan bakar biodiesel minyak jelantah yang memiliki viskositas, densitas dan *flashpoint* yang lebih tinggi dari solar maka sifat – sifat tersebut dapat mengakibatkan proses deformasi biodiesel minyak jelantah akan menjadi lebih sulit.

viskositas yang tinggi juga dapat menyebabkan pembakaran yang tidak sempurna dan peningkatan karbon pada ruang bakar mesin [13], ukuran *droplet* lebih besar jika dibandingkan dengan solar karena tingkat penguapan biodiesel lebih tinggi [14].

Karakteristik semprotan bahan bakar terutama tergantung pada tekanan injeksi bahan bakar, kepadatan bahan bakar, viskositas bahan bakar, tekanan dan suhu sekitar [15,18]. Diameter *droplet*, sudut *spray*, dan panjang semprotan yang dihasilkan dari proses *spray* meningkat dengan meningkatnya laju aliran bahan bakar dapat mempengaruhi efisiensi pembakaran yang terjadi [16]. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui tingkat efisiensi bahan bakar biodiesel minya jelantah, maka dalam penelitian ini memvariasikan lubang diameter *nozzle* untuk mengetahui karakteristik semprotan/*spray*.

## METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian ini menggunakan metodologi penelitian eksperimental (*true experimental research*), yaitu melakukan dengan melakukan pengujian secara langsung pada obyek yang diteliti untuk memperoleh data sebab akibat melalui proses eksperimen sebuah peralatan yang ditunjukkan secara skematis pada gambar 1. Pompa *jet cleaner* pada output pompa dihubungkan pada *bypass valve* dan pipa *nozzle* memompakan biodiesel minyak jelantah dengan tekanan 50 bar dengan memvariasikan diameter lubang *nozzle*. Pengambilan data sudut *spray* dan panjang nyala api dilakukan pada saat bahan bakar melewati lubang *nozzle*. Pada penelitian ini menggunakan variasi diameter lubang *nozzle* 0,2 mm; 0,4 mm dan 0,6 mm dengan tekanan konstan 50 bar. *Nozzle* yang digunakan terbuat dari material *stainless steel*. Untuk mendapatkan sudut *spray* dan panjang nyala api, pengambilan data menggunakan camera Canon 1100 D. Untuk menentukan sudut *spray* dan panjang nyala api maka data yang diperoleh dari pengujian berupa video kemudian diubah menjadi *JPG* dengan *software Free video to JPG Converter*, sedangkan untuk mengukur skala gambar agar sesuai dengan aslinya, gambar diolah menggunakan *image J*, dan untuk menentukan sudut *spray* dan panjang nyala api menggunakan *software Corel Draw*.



Gambar 1. Peralatan Eksperimen.

Keterangan gambar: 1. Pompa *jet cleaner*, 2. Selang output, 3. Reservoir suction, 4. Meja, 5. Selang *high pressure*, 6. *Bypass valve*, 7. *Pressure gauge*, 8. *Nozzle*, 9. *Mistar*, 10. *Reservoir discharge*

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Data Bahan Bakar

Data bahan bakar diperlukan untuk mengetahui sudut, diameter *droplet*, kecepatan injeksi, debit dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai jangkauan *droplet* paling jauh. Tabel 1 menunjukkan karakteristik sifat fisika bahan bakar biodiesel minyak jelantah.

### Kecepatan semprotan bahan bakar

Kecepatan semprotan bahan bakar dapat diperkirakan secara teoritis menggunakan rumus persamaan sebagai berikut (Liguang, 2007).

$$v_i = C_d \sqrt{\frac{2 \Delta p_i}{\rho_i}} = 0,67 \sqrt{\frac{2 * 5 * 10^6}{855,1}} = 71,21 \text{ m/s}$$

Karena tekanan terhadap nozzle tetap maka diasumsikan pada setiap diameter *nozzle* kecepatan semprotannya sama yaitu sebesar 71,21 m/s.

### Hubungan Variasi Diameter Lubang *Nozzle* Terhadap Diameter *Droplet*

Karena keterbatasan alat untuk menentukan diameter *droplet* secara aktual, maka untuk mengetahui besar butiran *droplet* yang terbentuk hasil dari atomisasi bahan bakar dapat diperkirakan menggunakan persamaan *Sauter Mean Diameter* atau  $D_{32}$

$$D_{32} = 4.12 d_n Re^{0,12} We^{-0,75} \left\{ \frac{\mu_f}{\mu_a} \right\}^{0,54} \left\{ \frac{\rho_f}{\rho_a} \right\}^{0,18}$$

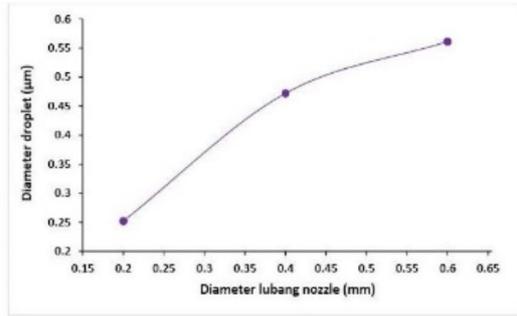
Agar persamaan diatas bisa ditentukan nilainya maka harus ditentukan terlebih dahulu nilai *Reynolds number* ( $Re$ ) *spray* dan *Weber number* ( $We$ ) *droplet*. Dimana nilai *Reynolds number* dapat ditentukan menggunakan persamaan :

$$Re_s = \frac{v_f d_n}{\nu_f} = \frac{71,21 \times 0,4}{4,45} = 6400,898$$

Sedangkan nilai *Weber number* dapat ditentukan menggunakan rumus persamaan :

$$We_d = \frac{\rho_f v_f^2 d_n}{\sigma_l} = \frac{885,1(71,21)^2 0,4}{33,1} = 54238,2$$

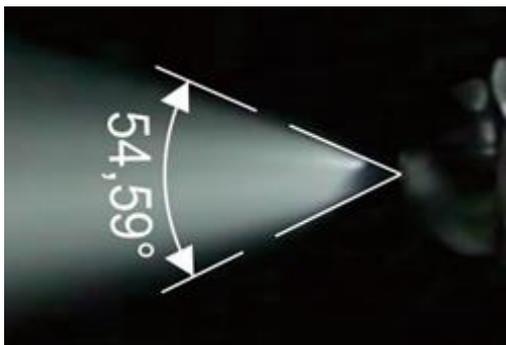
Karena nilai *Reynolds number* dan *weber number* sudah diketahui maka diameter *droplet* dapat diketahui



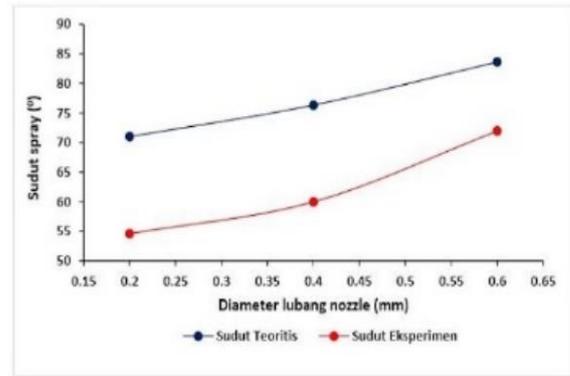
Grafik 1. Grafik hubungan variasi lubang *nozzle* terhadap diameter *droplet*

Grafik 1 menunjukkan variasi diameter lubang *nozzel* berhubungan dengan diameter *droplet* yang dihasilkan. *Droplet* paling kecil terjadi pada diameter *nozzle* 0,2 mm dengan besar *droplet* 0,25 µm sedangkan *droplet* paling besar terjadi pada diameter *nozzel* 0,6 mm dengan besar *droplet* 0,56 µm. Fenomena ini dipengaruhi oleh tegangan permukaan pada bahan bakar, tegangan permukaan merupakan gaya kohesi dari suatu fluida atau zat cair. Karena diameter *nozzle* meningkat pada setiap variasi *nozzle* maka secara otomatis tegangan permukaan bahan bakar ikut meningkat sehingga diameter *droplet* yang dihasilkan mengalami peningkatan. Selain tegangan permukaan pada bahan bakar bilangan *reynold number* juga berpengaruh terhadap diameter *droplet* yang dihasilkan dimana nilai *reynold number* yang semakin besar akan menghasilkan *droplet* yang semakin besar juga.

#### Hubungan Variasi Diameter Lubang *Nozzle* Terhadap Sudut Semprotan



Gambar 2. Hasil pengukuran sudut spray



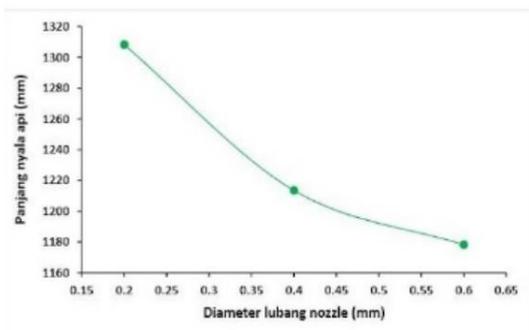
Grafik 2. Grafik hubungan variasi diameter lubang *nozzle* terhadap sudut *spray*

Grafik 2 menunjukkan terjadi peningkatan saat diameter lubang *nozzle* diperbesar, sudut *spray* secara teoritis terjadi peningkatan yang stabil pada saat diameter *nozzle* diperbesar sedangkan sudut secara eksperimen terjadi peningkatan yang cukup signifikan pada saat *nozzle* diperbesar dari 0.4 mm menjadi 0.6 mm. perbedaan besar sudut secara teoritis dan secara eksperimen juga cukup besar dimana pada diameter *nozzle* 0,2 mm perbedaan besar sudut *spray* mencapai 16,52°, namun terjadi penurunan pada saat diameter *nozzle* diperbesar dimana perbedaan sudut pada diameter *nozzle* 0,6 mm sebesar 11,66°. Fenomena tersebut dipengaruhi oleh bentuk *nozzle* yang digunakan pada penelitian tersebut, pada perhitungan secara teoritis bentuk *nozzle* diabaikan. Peningkatan sudut *spray* juga dapat dipengaruhi oleh viskositas bahan bakar, viskositas yang tinggi akan membentuk sudut *spray* yang lebih kecil karena laju aliran bahan bakar terhambat. Dengan diameter *nozzle* yang diperbesar maka hambatan bahan bakar menurun dan bahan bakar lebih mudah untuk melewati lubang *nozzle* sehingga hal tersebut dapat mempengaruhi besar sudut yang terbentuk.

#### Hubungan Variasi Diameter Lubang *Nozzle* Terhadap Panjang Nyala Api



Gambar . Pengukuran panjang nyala api



Grafik 3. Grafik hubungan variasi diameter lubang nozzle terhadap panjang nyala api

Gambar 2 menunjukkan panjang api semakin menurun seiring dengan bertambahnya diameter lubang *nozzle*. Hal tersebut berhubungan dengan kecepatan pembakaran dimana proses pembakaran yang lebih cepat akan menghasilkan nyala api yang lebih kecil dibanding dengan reaksi pembakaran yang lebih lambat [17]. Fenomena tersebut salah satunya dapat dipengaruhi oleh sudut *spray* yang lebih besar sehingga jangkauan *droplet* hasil *spray* menjadi lebih pendek. Pada saat terjadi nyala api proses *difusi* bahan bakar dan udara terjadi pada area yang lebih luas, hal tersebut dapat mempengaruhi kecepatan pembakaran bahan bakar tersebut.

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian maka yang diperoleh :

1. Variasi diameter lubang *nozzle* mempengaruhi besar kecilnya diameter *droplet*.
2. Semakin besar diameter lubang *nozzle* semakin besar sudut *spray* yang dihasilkan.
3. Variasi diameter lubang *nozzle* mempengaruhi panjang nyala api yang terbentuk

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kloptenstem WE. *Effect of molecular weights of fatty acid esters on cetane numbers as diesel fuels*. J. Am. Oil Chem. Soc. 1988;65:1029–31.
- [2] Harrington KJ. *Chemical and physical properties of vegetable oil esters and their effect on diesel fuel performance*. Biomass 1986;9:1–17.
- [3] Masjuki H, Salit. *Biofuel as diesel fuel alternative: an overview*. J. Energy Heat Mass Transfer 1993;15:293–304.
- [4] LePori WA, Engler CR, Johnson LA, Yarbrough CM. *Animal fats as alternative diesel fuels, in liquid fuels from renewable resources*. Proceedings of an Alternative Energy Conference. American Society of Agricultural Engineers, St Joseph; 1992. pp. 89–98.
- [5] Srinivasa Rao P, Gopalakrishnan VK. *Vegetable oils and their methylesters as fuels*

*for diesel engines*. Ind. J. Technol. 1991;29:292–7.

- [6] Masjuki H, Sohif M. *Performance evaluation of palm oil diesel blends on small engine*. J. Energy Heat Mass Transfer 1991;13:125–33.
- [7] Nag A, de Bhattcharya KB. *New utilizations of vegetable oils*. J. Am. Oil Chem. Soc. 1995;72(12):1391–3.
- [8] Takeda Y. *Developmental study on jatropha curcas (Sabu dum) oil as a substitute for diesel engine oil in Thailand*. J. Agricultural Assoc. China 1982;20:1–9.
- [9] Piyaporn K, Narumon J, Kanit K. *Survey of seed oils for use as diesel fuels*. J. Am. Oil Chem. Soc. 1996;71(4):471–7.
- [10] Kariada, I Ketut; Kusuma, I Gusti Bagus Wijaya; Widiyarta, I Wayan. *Uji Karakteristik Semprotan Biodiesel Minyak Biji Pinang Dan Unjuk Kerja Pada Mesin Diesel Silinder Tunggal Putaran Stationer*. Logic: Jurnal Rancang Bangun dan Teknologi, [S.l.], v. 15, n. 3, p. 147, mar. 2017. ISSN 2580-5649.
- [11] No, S.-Y. (2011). *How Vegetable Oils and Its Derivatives Affect Spray Characteristics in CI Engines - A Review*. Atomization and Sprays, 21(1), 87–105.
- [12] Basak, A., Patra, J., Ganguly, R., & Datta, A. (2013). *Effect of transesterification of vegetable oil on liquid flow number and spray cone angle for pressure and twin fluid atomizers*. Fuel, 112, 347–354.
- [13] Che Mat, S., Idroas, M. Y., Hamid, M. F., & Zainal, Z. A. (2018). *Performance and emissions of straight vegetable oils and its blends as a fuel in diesel engine: A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 82, 808–823.
- [14] Chong, C. T., & Hochgreb, S. (2015). *Spray and combustion characteristics of biodiesel: Non-reacting and reacting*. International Biodeterioration & Biodegradation, 102, 353–360.
- [15] Agarwal, A. K., & Chaudhury, V. H. (2012). *Spray characteristics of biodiesel/blends in a high pressure constant volume spray chamber*. Experimental Thermal and Fluid Science, 42, 212–218. doi:10.1016/j.expthermflusci.2012.05.006
- [16] Gangwar, H. K., & Agarwal, A. K. (2008). *Emission and Combustion Characteristics of Vegetable Oil (Jatropha curcus) Blends in an Indirect Ignition Transportation Engine*. SAE Technical Paper Series.
- [17] Valente, O. S., Pasa, V. M. D., Belchior, C. R. P., & Sodr e, J. R. (2012). *Exhaust emissions from a diesel power generator fuelled by waste cooking oil biodiesel*. Science of The Total Environment, 431, 57–61.

[18]Sudarmanta, B., Sungkono, D. *Transesterifikasi Crude Palm Oil Dan Uji Karakteristik Semprotan Menggunakan Injektor Motor Diesel*. Jurnal Teknik Mesin, Volume 5, Nomor 2, Mei 2005

Pinto, A., Wijaya Kusuma, I. G. B. *UJI Karakteristik Penyemprotan Bahan Bakar Biodiesel Pada Nozel Mesin Diesel Dengan Sistem Injeksi Langsung*. Jurnal Logic. Vol.15. No.1 Maret 2015

## ANALISA KELAYAKAN INVESTASI USAHA PRODUKSI MINYAK KELAPA DI KABUPATEN ACEH SINGKIL

Darwin Hendri<sup>1\*</sup>, Herdi Susanto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Teuku Umar

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Teuku Umar

Email: \*darwinhendri14@gmail.com

### ABSTRAK

Potensi area perkebunan kelapa yang ada di wilayah Pulau Banyak sekitar 1.554 Ha dengan total produksi kelapa 406 ton pada tahun 2018. Pengolahan buah kelapa yang masih menggunakan cara tradisional yaitu dengan diperas dengan tangan ada juga yang menggunakan kayu sebagai alat bantu pemerasan, tentu ini tidak efisien mengingat waktu pemerasan yang lama dan juga membutuhkan banyak tenaga untuk pemerassannya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui analisa kelayakan investasi usaha produksi minyak kelapa menggunakan mesin PRS-100. Penelitian ini menggunakan metode literatur, yaitu dengan pengumpulan data melalui referensi dari buku-buku, jurnal, website, dan penelitian yang telah dilakukan berkaitan dengan mesin pemerassantan. Hasil dari penelitian ini menjelaskan bahwa kapasitas kerja mesin pemerassantan sebesar 150 kilogram per jam dengan menggunakan 2 mesin PRS-100. Rendemen yang dihasilkan 14,65%, biaya tetap sebesar Rp. 8.614.374 pertahun, biaya tidak tetap sebesar Rp. 266.602 per jam, biaya pokok persatuan waktu Rp. 270.889 per jam, biaya pokok persatuan produksi Rp. 1.805 perkilogram, B/C Ration yang diperoleh sebesar 1,1 dengan keuntungan sebesar Rp. 2.019.000 perhari. Jumlah investasi usaha produksi minyak kelapa menggunakan mesin PRS-100 sebesar Rp. 498.095.059, dengan Proceed tahunan Rp. 49.809.5059.

Kata Kunci: tradisional, minyak, PRS-100, investasi

### PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara penghasil kelapa terbesar didunia. Dengan luas area 3.544.393 Ha[1]. Paling dominan berkembang dan tumbuh di kawasan pantai hingga ketinggian 600 m dari permukaan laut . Total produksi kelapa di Indonesia diperkirakan sebanyak 18 juta ton kelapa per tahun.[1]

Provinsi Aceh secara topografi merupakan daerah yang memiliki potensi pengembangan kelapa yang cukup baik. Luas area tanaman kelapa provinsi Aceh mencapai 106.607 Ha dengan hasil produksi sekitar 63.486 ton/tahun[1].

Kabupaten Aceh Singkil merupakan daerah dengan jumlah pulau terbanyak di Aceh, sekitar 64 pulau. Garis pantai yang cukup panjang menjadikan daerah kepulauan aceh singkil menjadi habitat dominan pohon kelapa. Pulau Banyak merupakan penghasil kelapa terbesar yang ada di Aceh Singkil Dengan luas area tanaman buah kelapa 1.554 Ha dengan hasil produksi sekitar 406 ton/tahun [2].

Pada saat ini produksi pengolahan buah kelapa yang ada di pesisir Aceh Singkil masih tergolong sangat rendah. Dikarenakan pengolahan

buah kelapa yang masih menggunakan cara tradisional, yaitu dengan cara di peras dengan tangan, ada juga yang diperas menggunakan kayu buatan. Sehingga banyak buah kelapa yang ada di pesisir Pulau Banyak tidak bisa di manfaatkan secara optimal, bahkan banyak petani buah kelapa yang tidak bisa mengelolah hasil panen buah kelapanya secara maksimal terpaksa menjual hasil panen buah kelapanya ke penampung lokal untuk dikirim ke luar kota dikarnakan harga jual di daerah sendiri masih tergolong sangat rendah.

Dari dasar pemikiran diatas, maka penulis tertarik untuk melakukan analisa kelayakan investasi usaha produksi minyak kelapa di Pulau Banyak Kabupaten Aceh Singkil.

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 2.1 Tempat dan Waktu

Jurusan Teknik Mesin, fakultas Teknik Universitas Teuku Umar.

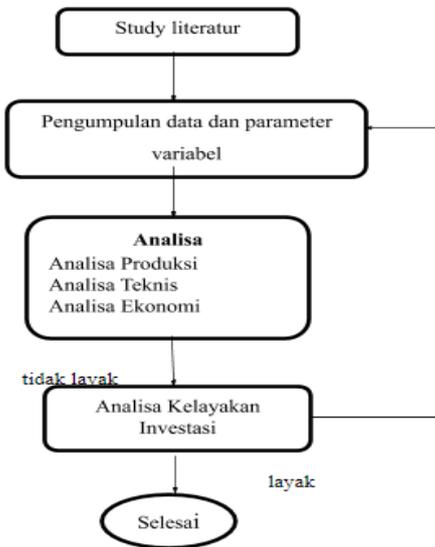
#### 2.2 Data yang diperlukan

Adapun data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah data total produksi kelapa di wilayah Pulau Banyak tahun 2018. dan data

mesin pengolah minyak kelapa yang tersedia dipasar.

### 2.3 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode literatur, yaitu dengan pengumpulan data melalui referensi dari buku-buku, jurnal, website, dan penelitian yang telah dilakukan berkaitan dengan mesin pemeras santan.



Gambar 1. Kerangka Konsep Penelitian

### 3.4 Mesin Pemeras Santan



Gambar 2 mesin pemeras santan sistem *screw press*[4]

### 2.5 Penetapan Variabel/Parameter

Pengambilan data pada penelitian ini perlu menentukan variabel-variabel atau parameter-parameter pendukung dan jenis data. Adapun kumpulan data yang digunakan adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Variabel Penelitian

Data dan Variabel yang Diambil	Data	Jenis Data
Harga mesin pemeras santan	Rp 19.250.000	
Daya mesin	6.5 HP	
Harga bahan bakar	Rp 10.000	
Harga oli pelumas	Rp 40.000	
Jumlah tenaga kerja		
Karyawan	4 orang	
Upah tenaga Kerja/orang/bulan	Rp 2.916.810	
Jumlah hari kerja pertahun	287 hari	
Jumlah jam kerja pertahun	2.009 jam	
Harga beli bahan baku	Rp 7000	
Harga jual minyak kelapa	Rp 40.000	
1 kg kelapa parut	2 buah kelapa	
1 kg kelapa parut	293 mL minyak	

### 2.5.1 Analisa Teknis

#### a. Kapasitas Kerja

Kapasitas kerja alat pemeras yang dimaksud adalah kapasitas produksi ekonomis yaitu volume atau jumlah satuan produk yang dihasilkan selama satu satuan waktu tertentu secara menguntungkan [5].

Untuk kapasitas kerja alat pemeras santan dapat di hitung dengan menggunakan rumus :

$$B = W/T \quad (1)$$

dengan B adalah kapasitas kerja alat pemeras santan (kg/jam), W adalah jumlah berat bahan yang diolah (kg), T adalah Waktu pemerasan (jam).

#### b. Rendemen

Rendemen adalah persentase rasio berat produk dan berat bahan baku. Adapun persamaan yang digunakan untuk menghitung rendemen adalah :

$$R = s/p \times 100\% \quad (2)$$

dengan R adalah Rendemen (%), S adalah Massa santan setelah diolah (kg), P adalah Massa santan sebelum diolah (kg)

### 2.5.2 Analisa Ekonomi

#### 1. Biaya Tetap

##### a. Biaya Penyusutan

Penyusutan adalah berkurangnya nilai suatu benda modal karena pemakaian sepanjang umur pakainya akibat berkurangnya fisik benda modal tersebut dan berkurangnya fungsi benda modal.

$$D = (P-S)/N \quad (3)$$

dengan D adalah Biaya penyusutan (Rp/thn), P adalah Harga awal pembelian mesin

(Rp), S adalah Harga akhir mesin pemeras santan unit dimana 10% dari harga awal (Rp), N adalah Umur Ekonomis Alat (5 tahun)

b. Biaya Bunga Modal

Biaya modal dan asuransi dapat dicari dengan persamaan :

$$I = ((P + s)) / 2 \times i \quad (4)$$

dengan I adalah Bunga modal (Rp/tahun), I adalah Bunga modal pertahun (%), P adalah Harga awal pembelian alat (Rp)

c. Biaya Garasi

biaya garasi/ gudang terhadap mesin alat pertanian tidak nyata nilai uangnya tetapi terlihat terhadap alat atau mesin pertanian.

Biaya Pajak dapat dicari dengan persamaan :

$$G = (P) (1\%) \quad (5)$$

adalah P adalah Harga awal pembelian mesin (Rp)

2. Biaya Tidak Tetap

a. Biaya Perbaikan dan Pemeliharaan

Biaya perbaikan dan pemeliharaan dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut :

$$R = 2\% \times ((P - S)) / (100 \text{ jam}) \quad (6)$$

dengan S adalah Harga akhir mesin pemeras santan unit dimana 10% dari harga awal (Rp), P adalah Harga awal mesin (Rp)

Menurut [6] biaya perawatan dan perbaikan setiap 100 jam kerja peralatan diperkirakan 2-4 %.

b. Biaya Bahan Bakar

Biaya bahan bakar (bb) ditentukan dengan persamaan :

$$Bb = 0,21 / HP / \text{jam} \times \text{daya mesin} \times \text{harga bahan bakar} \quad (7)$$

c. Biaya Oli Pelumas

Perkiraan penggunaan minyak pelumas (MP) 0,8 liter per HP 100 jam setiap daya mesin. Minyak pelumas untuk mesin meliputi oli mesin, oli transmisi, oli final drive, oli hydraulic. Biaya oli mesin dimaksud sebagai jumlah volume oli baru yang diisikan ke dalam mesin tiap periode tertentu [7].

$$OP = 0,9 \text{ lt} / \text{HP} / \text{jam} \times \text{daya mesin} \times \text{harga oli pelumas} \quad (8)$$

d. Biaya Tenaga Kerja

Merupakan biaya-biaya bagi para tenaga kerja langsung ditempatkan dan didayagunakan dalam menangani kegiatan-kegiatan proses produk jadi secara langsung diterjunkan dalam kegiatan

produksi menangani segala peralatan produksi dan usaha itu dapat terwujud.

Biaya tenaga kerja ditentukan dengan persamaan :

$$Tk = \text{Jumlah tenaga kerja} \times \text{upah perjam} \quad (9)$$

Dimana upah kerja tergantung daerah dimana pekerja itu bekerja. Total biaya tidak tetap (btt) adalah :

$$Btt = Bb + R + TK \quad (10)$$

2.3.3 Biaya Total Penggunaan Alat/ Biaya Pokok

Biaya pokok merupakan total biaya yang harus dikeluarkan untuk satuan waktu (Rp/jam) atau satuan produksi (Rp/kg).

a. Biaya pokok per satuan waktu (Rp/jam)

$$BP = BT / X + Btt \quad (11)$$

dengan BP adalah Biaya total per satuan waktu (Rp/jam), BT adalah Biaya tetap (Rp/thn), BTT adalah Biaya tidak tetap (Rp/jam), X adalah Jumlah jam kerja per tahun (Jam/tahun)

b. Biaya pokok per satuan produksi (Rp/kg)

$$BP = (BT / X + BTT) / K \quad (12)$$

dengan BP adalah Biaya pokok persatuan waktu (Rp/jam), BT adalah Biaya tetap (Rp/jam) BTT adalah Biaya tidak tetap (Rp/jam), X adalah Jumlah jam kerja pertahun (Rp/thn), K adalah Kapasitas alat kerja (kg/jam)

2.3.4 Keuntungan

Kalangan ekonomi mendefenisikannya sebagai selisih antara total penjualan dengan total biaya, total penjualan yakni harga barang yang dijual.

Keuntungan dapat dicari dengan persamaan :

$$\text{Keuntungan} = \text{Pemasukan} - \text{pengeluaran} \quad (13)$$

dengan Pemasukan adalah Harga jual produk Pengeluaran adalah Total biaya

2.3.5 B/C Ration

Metode *Benefit Cost Ration* (BCR) adalah salah satu metode yang digunakan dalam tahap-tahap evaluasi awal perencanaan investasi atau sebagai analisis tambahan dalam rangka memvalidasi hasil evaluasi yang telah dilakukan dengan metode lainnya. B/C Ration dapat dicari dengan persamaan :

$$B/C = (\text{Penerimaan benefit}) / (\text{Biaya total Alat}) \quad (14)$$

2.6 Analisa Kelayakan Investasi

Analisis kelayakan investasi adalah suatu penelitian yang dilakukan pada sebuah proyek atau

usaha (biasanya proyek investasi) apakah dapat dilaksanakan atau tidak untuk mencapai keberhasilan [8]. Pengertian dari keberhasilan ini dapat lebih terbatas atau dapat juga diartikan yang lebih luas. Arti yang lebih terbatas adalah keberhasilan bagi perusahaan yaitu menambah keuntungan, sedangkan yang lebih luas adalah keberhasilan diluar perusahaan, misalnya keberhasilan bagi masyarakat yaitu penyerapan tenaga kerja.

### 2.6.1 Metode Analisis Investasi

Dalam menilai suatu investasi, diperlukan metode analisis untuk mengetahui apakah suatu investasi tersebut layak untuk dilaksanakan atau tidak. Dalam penilaian tersebut mencakup berbagai aspek serta membutuhkan pertimbangan tertentu untuk memutuskan kelayakan sebuah investasi.

#### Metode Payback Period

Metode ini digunakan untuk mengukur seberapa cepat waktu yang diperlukan agar dana yang tertanam dalam suatu investasi dapat kembali seluruhnya, dengan penerimaan proceeds atau aliran kas netto (*net cash flow*). sehingga, satuan hasilnya bukan prosentase melainkan satuan waktu, seperti tahun, Payback method bukan merupakan pengukur tingkat keuntungan (*profitability*) suatu investasi. Dengan kata lain payback period merupakan suatu periode yang diperlukan untuk dapat menutup kembali pengeluaran investasi dengan menggunakan *proceeds* atau aliran kas netto (*net cash flow*).

$$Payback\ period = \frac{cost}{unifrom\ annual\ benefit} \quad (15)$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Analisa Produksi

Kelapa yang dikelola dengan cara tradisional mengandung minyak kelapa murni sebesar 293 mL/kg. Di Pulau Banyak produksi buah kelapa perharinya sebesar 1200 kg, jika dikalikan dengan 293 mL maka produksi minyak kelapa murni di Pulau Banyak sebesar 351,6 Liter/hari.

### 3.2 Analisa Teknis

Analisa teknis dilakukan untuk mengetahui jumlah produksi pada mesin pemeras santan. Parameter yang ditunjukkan adalah kapasitas kerja alat dan rendemen yang dihasilkan oleh alat pemeras santan. Pada mesin pemeras santan diperoleh kapasitas kerja 1 mesin 75 kilogram

perjam, jika menggunakan 2 mesin maka rata-rata kapasitas mesin pemeras santan 150 kilogram perjam. Dan rendemen mesin sebesar 29,3 % jika menggunakan 2 mesin maka rendemennya 14,65%

### 3.3 Analisa Ekonomi

Adapun analisa ekonomi yang dihitung adalah biaya tetap (*fixed cost*), biaya tidak tetap (*variabel cost*), biaya total penggunaan alat, dan *B/C Ration*.

#### 3.3.1 Biaya Tetap (*fixed cost*)

##### a. Biaya Penyusutan

Jika harga awal pembelian mesin PRS-100 adalah Rp. 19.250.000, dan umur ekonomis alat adalah 5 tahun. Maka, Biaya penyusutan yang terjadi pada mesin pemeras santan PRS-100 ini sebesar Rp. 3.465.000 per tahun. Jika menggunakan 2 mesin PRS-100 maka biaya penyusutannya Rp. 6.930.000 pertahun.

##### b. Biaya Bunga Modal dan Asuransi

hasil hitung biaya modal sangat dipengaruhi oleh biaya bunga suatu bank. Jika harga awal pembelian mesin PRS-100 adalah Rp. 19.250.000, dan bunga modal pertahun sebesar 7,5%. Maka, Biaya bunga modal dan asuransi pada mesin pemeras santan PRS-100 ini sebesar Rp. 649.687 per tahun per tahun. Jika menggunakan 2 mesin PRS-100 maka biaya penyusutannya Rp. 1.299.374 pertahun.

##### c. Biaya garasi

Adapun biaya garasi pada mesin pemeras santan ini adalah Rp. 385.000. dan total biaya tetap yang dijumlahkan dengan biaya penyusutan, biaya bunga modal asuransi, dan biaya garasi adalah sebesar Rp. 8.614.374 pertahun.

#### 4.3.2 Biaya Tidak Tetap

##### a. Biaya bahan bakar

Jenis bahan bakar yang digunakan adalah pertalite. Harga bahan bakar Rp. 7.650 perliter. Tenaga mesin sebesar 6,5 HP, maka biaya bahan bakar yang perlukan setiap jamnya Rp. 198.900 perjam.

##### b. Biaya Oli pelumas

Harga oli pelumas Rp. 40.000, maka oli pelumas yang diperlukan pada kedua mesin pemeras santan PRS-100 adalah sebesar Rp. 4.680 perjam.

##### c. Biaya Perbaikan (Reparasi)

Untuk biaya perbaikan pada mesin pemeras santan PRS-100 ini digunakan 2% dari harga pembelian awal mesin. Dimana harga awal mesin

Rp. 19.250.000, maka biaya perbaikannya kedua mesin sebesar Rp. 6.930 perjam.

#### d. Biaya Tenaga Kerja

Untuk biaya tenaga kerja tergantung Upah Minimum Provinsi (UMP) yaitu sebesar Rp. 2.916.810 perbulan. Jika pada pengoprasian kedua mesin pemeras santan ini PRS-100 ini menggunakan operator sebanyak 4 orang, dengan rata-rata jumlah jam kerja perhari 8 jam. Sehingga biaya tenaga kerjanya Rp. 56.092 per jam. Sehingga total biaya tenaga kerja Rp. 11.667.240 per bulan. Untuk total biaya tidak tetap dihitung dari biaya bahan bakar, biaya oli pelumas, biaya perbaikan, dan biaya tenaga kerja, sebesar Rp. 266.602 per jam.

#### 4.3.3 Biaya total penggunaan alat/ biaya pokok (BP)

##### a. Biaya pokok persatuan waktu (Rp/jam)

Biaya pokok persatuan waktu dipengaruhi oleh besarnya biaya tetap (fixed cost), biaya tidak tetap (variable cost), dan jumlah jam kerja pertahunnya. Biaya pokok persatuan waktu merupakan biaya tetap pertahun dibagi dengan jumlah jam kerja pertahun dan dijumlahkan dengan biaya tidak tetap. Besar biaya tetap pada mesin pemeras santan ini Rp. 8.614.374 pertahun, biaya tidak tetap sebesar Rp. 266.602 per jam dan jumlah jam kerja pertahunnya 2.009 jam, sehingga didapatkan biaya pokok peratuan waktu sebesar Rp. 270.889 per jam.

##### b. Biaya pokok persatuan produksi (Rp/kg)

Selain dipengaruhi biaya tetap (fixed cost), biaya tidak tetap (variable cost), dan jumlah jam kerja pertahunnya, biaya pokok persatuan produksi juga dipengaruhi oleh kapasitas kerja alat. Biaya pokok persatuan produksi merupakan biaya tetap pertahun dibagi dengan jumlah jam kerja pertahun dan dijumlahkan dengan biaya tidak tetap kemudian dibagi dengan kapasitas kerja alat perjamnya. Besar biaya tetap pada mesin pemeras santan ini Rp. 8.614.374 pertahun, biaya tidak tetap sebesar Rp. 266.602 per jam, jumlah jam kerja pertahunnya 2.009 jam, dan kapasitas alat 150 kilogram perjam, sehingga biaya pokok persatuan produksi sebesar Rp. 1.805 perkilogram.

#### 4.3.4. Keuntungan

Bedasarkan analisa teknis dan ekonomi pada usaha produksi minyak kelapa murni menggunakan mesin PRS-100 biaya pemasukan sebesar Rp 14.064.000 perhari, dan biaya pengeluaran Sebesar Rp. 12.044.786 perhari. Sehingga keuntungan yang didapat Rp. 2.019.000 perhari.

#### 4.3.5 B/C Ration

Dari analisa diatas total biaya yang dikeluarkan oleh usaha produksi minyak kelapa murni menggunakan mesin PRS-100 adalah Rp. 10.747.190 dan total pendapatan Rp. 14.064.000. Hal ini menunjukkan bahwa mesin pemeras santan PRS-100 kecamatan Pulau Banyak layak digunakan. Hal ini dapat dilihat dari perbandingan total penerimaan dengan total biaya produksi yaitu memiliki angka perbandingan 1,1 atau  $1,1 > 1$ . Angka tersebut menunjukkan bahwa setiap Rp. 1 biaya yang dikeluarkan, maka pendapatan kotor yang diperoleh sebesar 1,1. Berdasarkan kriteria R/C Ration, yakni jika  $R/C > 1$  maka usaha produksi minyak kelapa murni menggunakan mesin PRS-100 tersebut layak dijalankan.

#### 4.4 Penilaian Kelayakan Investasi

Setiap penilaian layak yang diberikan nilai yang standar untuk usaha yang sejenis dengan cara membandingkan dengan rata-rata industri atau target yang telah ditentukan.. Artinya penilai menggunakan beberapa metode yang digunakan, maka semakin memberikan gambaran yang lengkap sehingga diharapkan memberikan hasil yang akan diperoleh menjadi lebih sempurna (Susanto,2000).

##### Metode Payback Period

Jika di investasikan 2 mesin PRS- 100, maka ntuk menghitung *payback period* sebagai berikut :

Ket : = total biaya produksi (Rp. 459.595.059)  
P = harga mesin awal (Rp. 19.250.000)  
=Jika diinvestasikan 2 mesin, maka menjadi Rp. 38.500.000  
= total Rp. 498.095.059

Dik :  
Jumlah investasi (Rp. 498.095.059)  
*Proceed* tahunan (Rp. 49.809.5059)  
Penyelesaian

$$\text{Payback period} = \frac{\text{cost}}{\text{uniform annual benefit}}$$
$$\text{Payback period} = \frac{498.095.059}{49.809.505/\text{tahun}} = 10$$

Jadi dengan demikian *payback period* untuk investasi usaha produksi minyak kelapa menggunakan mesin PRS-100 adalah 10 tahun.

#### KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian diatas antara lain

1. Dari hasil analisa diatas bahwa investasi usaha minyak goreng menggunakan mesin PRS-100 kapasitas 150 kg/jam layak untuk dijalankan diwilayah Pulau Banyak.

2. Berdasarkan perhitungan diatas dibutuhkan 2 mesin PRS-100 dengan kapasitas 150 kg/jam untuk memproduksi secara optimal potensi buah kelapa yang ada diwilayah pulau banyak.
3. Untuk investasi usaha produksi minyak kelapa menggunakan mesin PRS-100 diperlukan biaya sekitar Rp. 459.595.059 dengan proceed tahunan Rp. 49.809.5059 selama 10 tahun.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Indonesian Statistik perkebunan 2015-2017 *Kelapa Coconut [Book Section]*. - Jakarta : Sekretariat Direktorat jendral Perkebunan, 2016.
- [2] Statistik, J. P. (2018). *Kabupaten Aceh Singkil dalam angka 2018*. Aceh Singkil: BPS Kabupaten Aceh Singkil.
- [3] Kurniawati, F, dkk, 2014, *Analisis Kelayakan Investasi Atas Rencana Penambahan Aktiva Tetap dengan Menggunakan Teknik Capital Budgeting*, Jurnal Administrasi Bisnis (JAB) / Vol. 8 No. 2 Maret 2014, Universitas Brawijaya, Malang.
- [4] [Agrowindo. (2015). *Agrowindo create better future*. Retrieved September 23, 2019, from Mesin Pemas Santan PRS-100: <http://www.agrowindo.com/mesin-pemas-santan-manual-dan-listrik.html/mesin-pemas-santan-PRS-100>
- [5] Sutojo, 1993. *Studi kelayakan proyek*. BPFE-UGM Yogyakarta
- [6] Wijanto, 1996, *Ekonomi Teknik*. Universitas Sriwijaya Palembang.
- [7] Irwanto, 1980. *Ekonomi engeenering dibidang mekanisasi pertanian*. Institut Pertanian Bogor. Gramedia, Jakarta.
- [8] Husnan, S., Suwarsono, 1994, *Studi Kelayakan Proyek*, Edisi ketiga, UPP AMP YKPN, Yogyakarta.
- [9] Agrowindo. (2015). *Agrowindo create better future*. Retrieved September 23, 2019, from Mesin Pemas Santan PRS-100: <http://www.agrowindo.com/mesin-pemas-santan-manual-dan-listrik.html/mesin-pemas-santan-PRS-100>
- [10] Susanto, I, 2000, *fungsi keuntungan Cobb-Dauglas dalam pendugaan efisiensi ekonomi relatif*, jurnal Ekonomi Pembangunan. No.2, Vol.5 hal 149-161.
- Suastuti, D. A. (2009). *Kadar Air dan bilangan asam dari minyak kelapa yang dibuat dengan cara tradisional dan fermentasi*. Jurnal Kimia, 69-74.

**PROTOTIPE *INFANT INCUBATOR SYSTEM*-PEMANFAATAN PANAS LUARAN KOMPRESOR AC *SPLIT* UNTUK INKUBATOR BAYI TABUNG**Yudhy Kurniawan<sup>1\*</sup>, Kusnandar<sup>1</sup>, Tofik Hidayat<sup>2</sup>, Rizky Fathurohman<sup>2</sup><sup>1</sup>Staf Pengajar Jurusan Teknik Pendingin dan Tata Udara Politeknik Negeri Indramayu, Jl. Lohbener Lama 08, Indramayu, 45252<sup>2</sup>Alumni mahasiswa Jurusan Teknik Pendingin dan Tata Udara Politeknik Negeri Indramayu, Jl. Lohbener Lama 08, Indramayu, 45252

Email: \*k.yudhy@yahoo.com

**ABSTRAK**

Saat ini kebutuhan energi didunia masih didominasi bahan bakar fosil, dimana konsumsi terbesar yang dihasilkan dari fosil adalah energi listrik. Untuk daerah tropis, khususnya di rumah sakit banyak menggunakan *Air conditioning (AC) split* sebagai alat pengkondisian udara ruangan agar terasa nyaman bagi penghuninya. Dalam penelitian ini pemanfaatan AC diterapkan pada inkubator bayi tabung, hal ini mengingat masih banyaknya tingkat kematian bayi di negara berkembang karena minimnya perawatan terhadap bayi prematur. Penanganan unit inkubator selama ini hanya menggunakan *heater* sebagai media penghangat pada bayi. Untuk itu penelitian dilakukan dengan memanfaatkan panas dari *discharge line* kompresor AC *split* sebagai pemanas pada inkubator bayi tabung. Tujuannya agar pemanfaatan panas yang terbuang mampu memperbaiki efisiensi AC *split*, sekaligus optimal digunakan dalam pemanas inkubator bayi tabung. Metode penelitian diawali dengan membuat model alat yang dimodifikasi dari pipa luaran (*discharge line*) kompresor AC *split* yang dihubungkan pada penukar kalor inkubator. Untuk menjaga kesinambungan panas pada inkubator secara kontinyu dimana penggunaan AC *split* yang tidak terus-menerus bekerja, maka dikombinasikan dengan *heater*. Hasil yang diperoleh dapat diketahui seberapa besar performansi dan penghematan energy dari AC *split* tersebut saat dimanfaatkan panas buangnya untuk inkubator bayi tabung dibandingkan dengan tanpa dimanfaatkan panas buangnya.

Kata Kunci: pemanas inkubator bayi, performansi AC split

**PENDAHULUAN**

Kebutuhan akan pengkondisian udara di negara berkembang terutama dibidang kesehatan masih sangat besar. Masih banyak masyarakat yang mengeluhkan terhadap penanganan perawatan kesehatan pada ibu dan buah hati. Salah satu contoh permasalahan ketika melahirkan bayi premature yang rentan pada keselamatannya, maka perlu ada penanganan terhadap bayi agar tetap terjaga dari bakteri, infeksi, iritasi dan allergen. Perkembangan teknologi yang ada sudah difasilitasi dengan adanya alat penghangat tubuh bayi yaitu incubator. Teknologi ini difungsikan sebagai pengganti tempat bagi bayi yang selama ini berada dalam kandungan, dimana bayi yang berada dalam perut ibu dapat bertahan hidup pada temperature tubuh ibunya sekitar (36°C-37°C) [1]. Untuk bayi yang masih premature masih belum bisa beradaptasi dengan temperature lingkungan, oleh sebab itu perlu dibantu dengan incubator agar bayi dapat menyesuaikan diri dengan lingkungannya. Selama ini incubator yang ada

masih menggunakan *heater* sebagai pemanas utama untuk menghangatkan bayi, maka dalam penelitian ini dikembangkan dengan memanfaatkan panas luaran kompresor AC *split* sebagai pemanas alternative pada inkubator bayi apakah dapat tercapai sesuai yang diharapkan yaitu temperature 32°C-37°C dan kelembaban sekitar 50%-60% [2]. Tujuan dimanfaatkan panas dari kompresor ini adalah sebagai tindakan konservasi energy, dimana system pendingin direkayasa untuk penghematan energy yang terbuang agar diharapkan mampu memperbaiki kinerja atau performansi dari system AC *split* tersebut karena secara teknis terjadi proses *heat recovery*, dimana panas yang terbuang pada kompresor dapat dimanfaatkan kembali untuk memperbaiki kinerja system.

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan membuat system pemanas pada inkubator bayi tabung yang memanfaatkan panas buang dari pipa luaran (*discharge line*) kompresor AC *split*,

serta performansi yang dihasilkan setelah dimanfaatkan sebagai pemanas.

### METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah secara teoritis dan eksperimental. Metode secara teoritis menggunakan parameter rancangan dari system AC *split* yang sudah dimodifikasi sebagai pemanas inkubator bayi, sedangkan metode secara eksperimental dilakukan setelah *prototype* alat beroperasi dengan baik kemudian dilakukan pengujian untuk mengetahui analisis performansi system AC *split* tersebut. Skema rancangan system dapat dilihat pada Gambar 1. Tahapan-tahapan penelitian yang akan dilakukan antara lain:

#### Tahapan Persiapan

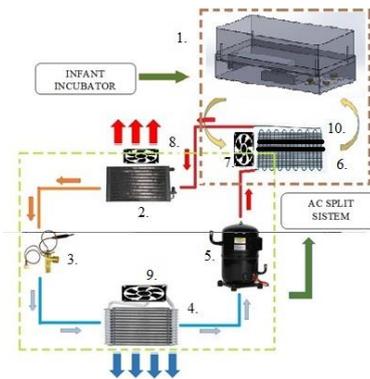
Studi pustaka dilakukan untuk mendapatkan materi mengenai pendahuluan, tinjauan pustaka, data-data atau informasi sebagai bahan acuan dalam melakukan pengujian. Perencanaan dilakukan agar tidak terjadi banyak kesalahan pada saat proses pembuatan alat.

#### Tahapan Perancangan

Tahapan ini merupakan tahapan awal mendesain sistem yang akan kita buat (lihat gambar 2). Dalam tahapan ini data rancangan awal sistem yang dibuat. Dan sebelum itu terlebih dahulu menentukan spesifikasi atau rancangan dan perhitungan beban pendingin dari alat *heating sensibel*. Beban pendingin yang dihitung dalam penelitian ini meliputi beban dinding, beban penghuni dan beban infiltrasi udara.

Spesifikasi yang diajukan adalah :

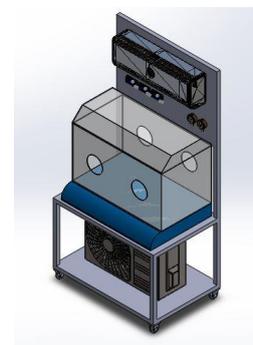
- a) Menggunakan AC Split 1/2 PK
  - Refrigerant R22
  - Kapasitas Pendinginan 4500 Btu/h
  - Kapasitas Refrigerant 0,47 kg
  - Daya Masukan 260 Watt
  - Tegangan 220 – 240 V ~
  - Frekuensi 50 Hz
- b) Kabin untuk ruangan sistem inkubator menggunakan bahan akrilik 5 mm dan berdimensi panjang 83 cm, lebar 44,5 cm, dan tinggi 29 cm.
- c) Menggunakan penambahan pipa di line discharge sepanjang 3,8 m dan diameter 3/8 sebagai alat penghantar panas di inkubator.
- d) Menggunakan *heater* 130 watt sebanyak 2 buah



Gambar 1. Skema rancangan modifikasi AC split sebagai pemanas inkubator bayi

Keterangan gambar :

1. Inkubator.
2. Kondensator.
3. Expansi / Pipa kapiler.
4. Evaporator.
5. Kompresor.
6. Kondensator (penghantar panas inkubator).
7. Fan Inkubator.
8. Fan Kondensator.
9. Fan Evaporator.
10. Heater



Gambar 2. Sistem inkubator AC

Untuk mengetahui seberapa besar kapasitas pemanasan yang digunakan pada incubator adalah sebagai berikut :

1. Beban Konduksi pada kabin ( $Q_{\text{konduksi}}$ )

Konstruksi kabin ini terbuat dari bahan akrilik berbentuk balok persegi panjang dengan ukuran Panjang ( $p$ ) = 83cm ; Lebar ( $L$ ) = 44,5 cm dan Tinggi ( $T$ ) = 29 cm sehingga diperoleh luas balok ( $A$ ) = 14782 cm<sup>2</sup> (1,478 m<sup>2</sup>). Sedangkan nilai konduktifitas termal secara keseluruhan ( $U$ ) diperoleh 1,751 W/m<sup>2</sup>.K. Untuk temperature udara dalam ruang kabin ( $T_{\text{room}}$ )= 36 °C; dan temperature lingkungan = 30 °C, sehingga perbedaan temperaturnya ( $\Delta T$ ) = 6 °C. Maka beban konduksi pada kabin diperoleh:

$$Q_{\text{konduksi}} = U \times A \times \Delta T = 15,527 \text{ W}$$

## 2. Beban penghuni ( $Q_{\text{penghuni}}$ )

Beban penghuni yang diperhitungkan adalah seorang bayi (n) dengan mengacu pada nilai kalor sensible ( $q_s$ ) dan kalor laten ( $q_l$ ). Untuk nilai kalor bayi itu diasumsikan pada 75% dari kalor orang dewasa [3]. Dimana  $q_s = 75\% \times 225 \text{ BTU/h} = 168,75 \text{ BTU/h}$ ; sedangkan  $q_l = 75\% \times 105 \text{ BTU/h} = 78,75 \text{ BTU/h}$ . Untuk perhitungan beban penghuni menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Beban sensible: } Q_s &= q_s \times n \times \text{CLF} \\ &= 168,75 \times 1 \times 1 \\ &= 49,46 \text{ watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban laten: } Q_l &= q_l \times n \\ &= 78,75 \times 1 \end{aligned}$$

$$Q_l = 78,75 \text{ BTU/h} = 23,07 \text{ watt}$$

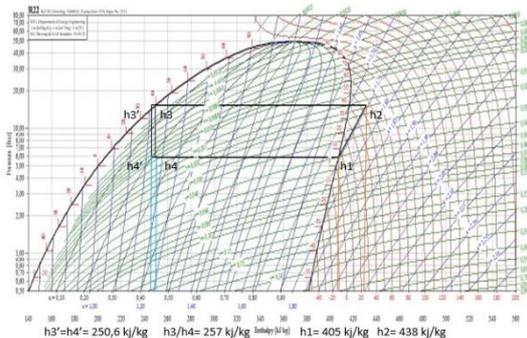
$$Q_{\text{total}} = Q_s + Q_l = 49,46 + 23,07 = 72,53 \text{ watt}$$

Maka total perhitungan *Heating Load* (beban pemanasan)  $Q_t$  :

$$\begin{aligned} Q_t &= Q_{\text{konduksi}} + Q_{\text{penghuni}} \\ &= 15,527 \text{ watt} + 72,53 \text{ watt} \\ &= 88,057 \text{ watt} \\ \text{Safety Factor} &= 10\% \times Q_t \\ &= 10\% \times \dots\dots\dots \text{ watt} \\ &= 8,806 \text{ Watt} \\ Q_t &= 96,863 \text{ watt} = 0,097 \text{ kW} \end{aligned}$$

Perhitungan efisiensi system pada infant incubator yang menggunakan luaran kompresor (*discharge line*) AC split adalah sebagai berikut:

Hasil rancang bangun didapatkan daya ( $P_{\text{kompresor}}$ ) sebesar 1/2 PK = 373 watt, temperatur evaporator = 5 °C, temperatur kondensor = 45 °C, Tekanan *discharge* = 270 Psi (18,6 Bar), Tekanan *suction* = 85 Psi (5,8 Bar). Pemanfaatan *discharge line* kompresor pada system inkubator, didapatkan ukuran pipa = 3/8, panjang pipa = 3,8 meter, spesifikasi arus (I) fan = 7A dan tegangan (V) =12v, maka didapatkan dengan diagram p-h pada refrijeran R22 sebagai berikut:



Gambar 3. Plot diagram p-h

Didapatkan nilai entalpi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} h_1 &= 405 \text{ kJ/Kg} \\ h_2 &= 438 \text{ kJ/Kg} \\ h_3 / h_4 &= 257 \text{ kJ/Kg} \end{aligned}$$

$$Q_w = 373 \text{ watt} = 0,373 \text{ kW}$$

### 1. Menghitung kerja kompresor $q_w$

$$q_w = h_2 - h_1 = 33 \text{ kJ/Kg}$$

### 2. Menghitung laju aliran massa refrijeran pada luaran kompresor $\dot{m}$

$$\dot{m} = \frac{P_{\text{komp.}}}{q_w} = \frac{0,373 \text{ kJ/s}}{33 \text{ kJ/Kg}} = 0,0113 \text{ Kg/s}$$

### 3. Menghitung panas kondensor $q_c$

$$q_c = h_2 - h_3 = 181 \text{ kJ/Kg}$$

### 4. Menghitung efek pendinginan $q_e$ dengan menggunakan rumus berikut :

$$q_e = h_1 - h_4 = 148 \text{ kJ/Kg}$$

### 5. Menghitung kalor *discharge line* ( $q_{dl}$ ) yang dimanfaatkan untuk pemanasan incubator :

Diketahui arus (I) fan = 7 A; tegangan (V) fan = 12 V, Maka diperoleh daya fan ( $P_{\text{fan}}$ ) pada *discharge line* =  $V \cdot I = 84 \text{ watt} = 0,084 \text{ kJ/s}$

$$P_{\text{fan discharge line}} = \dot{m} \times q_{dl}$$

$$q_{dl} = \frac{P_{\text{fan}}}{\dot{m}} = \frac{0,084 \text{ kJ/s}}{0,0113 \text{ Kg/s}} = 7,43 \text{ kJ/kg}$$

### 6. Untuk mengetahui laju aliran massa udara pada *discharge line* dapat menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} \dot{m}_{\text{udara}} &= \rho_{\text{udara}} \times A_{dl} \times v_{\text{udara}} \\ &= 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 0,05 \text{ m}^2 \times 0,38 \text{ m/s} \\ &= 0,022 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

Maka kapasitas kalor udara dari *discharge line* adalah :

$$\begin{aligned} Q_{dl} &= \dot{m} \times C_p \times (T_o - T_i) \\ Q_{dl} &= 0,022 \text{ kg/s} \times 1,005 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C} \times (36^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}) \\ &= 0,133 \text{ kJ/s} \end{aligned}$$

### 7. Efisiensi system inkubator

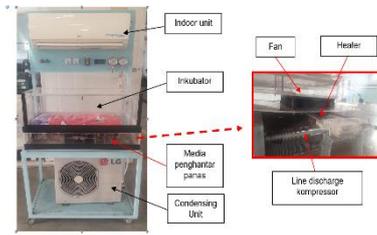
$$\begin{aligned} \eta_{\text{System}} &= \frac{Q_t}{Q_{dl}} \times 100 \% \\ &= \frac{0,097 \text{ kW}}{0,133 \text{ kW}} \times 100 \% \\ &= 0,73 \times 100 \% = 73 \% \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas didapatkan kapasitas penghangatan udara dalam *discharge line* sebesar 0,133 kWatt dan beban total 0,097 kWatt setelah di perhitungkan mendapatkan nilai efisiensi sebesar 73 %.

### Tahapan Pembuatan Prototipe

Setelah desain rancangan selesai dibuat, selanjutnya membuat *prototype* inkubator bayi dengan memanfaatkan panas dari luaran kompresor (*discharge line*) AC *split*. Untuk AC

split ini menggunakan refrigerant R22. Kemudian menambahkan beberapa alat yang diperlukan untuk memodifikasi menjadi sebuah prototype system inkubator bayi.



Gambar 4. Infant Incubator AC system

### Tahapan Pengambilan Data

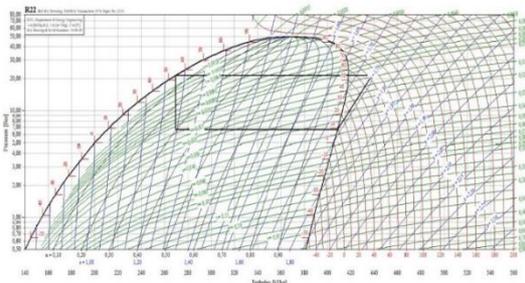
Dalam tahapan pengambilan data ini, akan diambil beberapa data dengan menggunakan alat ukur seperti : *thermometer digital dan thermocouple, hygrometer, pressure gauge, anemometer, multimeter, stopwatch*. Sedangkan data-data yang diperlukan dalam analisis adalah Temperatur dan RH udara lingkungan, temperatur dan tekanan refrijeran, temperatur udara masuk dan keluar alat penukar kalor, RH incubator, kecepatan udara dan tegangan dan arus listrik.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Perbandingan Analisis Performansi Sistem Pendingin

Dalam pembahasan ini membandingkan performansi system pendingin antara AC split yang dimodifikasi untuk pemanasan incubator bayi dengan yang konvensional (tanpa modifikasi incubator).

Dari data yang didapat hasil pengukuran pada sistem AC *split* (tanpa inkubator), digambarkan ke diagram p-h (gambar 5). Sistem AC split (tanpa inkubator) menit ke-60. Berdasarkan hasil yang di plot pada diagram P-h didapat nilai-nilai sebagai berikut:



Gambar 5. Diagram p-h (Tanpa Inkubator)

$$T_{in} \text{ Evaporator} = 9,1^{\circ}\text{C} = 282,1^{\circ}\text{K}$$

$$T_{in} \text{ Kondensator} = 54,4^{\circ}\text{C} = 327,4^{\circ}\text{K}$$

$$h_1 = 408,546 \text{ kJ/kg}; h_3=h_4 = 269,450 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = 437,854 \text{ kJ/kg}$$

#### 1. Menghitung Kerja Kompresi ( $q_w$ )

Besarnya kerja kompresi per satuan massa refrigeran dapat di hitung dengan menggunakan persamaan :

$$q_w = h_2 - h_1 = 29,308 \text{ kJ/kg}$$

#### 2. Laju Aliran Massa Refrigeran

Untuk daya kompresor yang digunakan 1/2 PK adalah 0,373 kJ/s. Besarnya laju aliran massa refrigeran dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\dot{m} = \frac{P \text{ Komp.}}{h_2 - h_1}$$

$$= \frac{0,373 \text{ kJ/s}}{29,306 \text{ kJ/kg}}$$

$$= 0,0127 \text{ Kg/s}$$

#### 3. Menghitung Efek Pemanasan ( $q_c$ )

Besarnya panas per satuan massa refrigeran yang di lepaskan di kondensor dinyatakan sebagai berikut :

$$q_c = h_2 - h_3 = 168,404 \text{ kJ/kg}$$

#### 4. Kapasitas Kondensator ( $Q_c$ )

Untuk mengetahui kapasitas kondensor dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Q_c = \dot{m} \times q_c$$

$$= 0,0127 \text{ Kg/s} \times 168,404 \text{ kJ/kg}$$

$$= 2,138 \text{ kJ/s}$$

#### 5. Efek Pendinginan ( $q_e$ )

Besarnya kalor yang di serap evaporator adalah : Sistem AC split (tanpa ncubator pada menit ke-60)

$$q_e = h_1 - h_4 = 139,096 \text{ kJ/kg}$$

#### 6. Kapasitas evaporator ( $Q_e$ )

Untuk mengetahui kapasitas kondensor dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Q_e = \dot{m} \times q_e$$

$$= 0,0127 \text{ Kg/s} \times 139,096 \text{ kJ/kg}$$

$$= 1,766 \text{ kJ/s}$$

#### 7. Nilai Performansi (COP)

##### a. COP<sub>actual</sub>

Untuk perhitungan COP<sub>actual</sub> menggunakan besarnya kalor yang di serap oleh evaporator ( $q_e$ ) dan besarnya kerja kompresi ( $q_w$ ) yaitu dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{COP actual} = \frac{q_e}{q_w} = 4,74$$

##### b. COP<sub>carnot</sub>

Untuk perhitungan COP<sub>carnot</sub> menggunakan temperatur kondensor dan temperatur evaporator yaitu dengan rumus sebagai berikut :

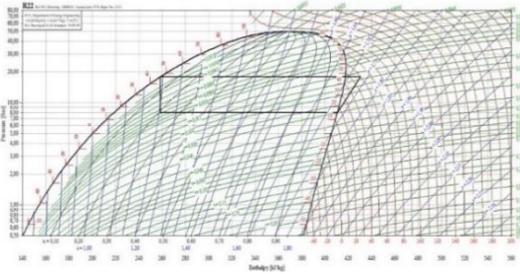
$$\text{COPcarnot} = \frac{\text{Temp. Evaporasi (K)}}{\text{Temp.Kondensasi (K)} - \text{Temp. Evaporasi (K)}}$$

$$= 6,23$$

8. Efisiensi sistem refrigerasi  $\eta$  (tanpa incubator)  
 Untuk perhitungan efisiensi system refrigerasi dapat menggunakan rumus :

$$\eta = \frac{COP_{actual}}{COP_{carnot}} \times 100\% = 76 \%$$

Dari data yang didapat hasil pengukuran pada sistem AC *split* (dengan modifikasi untuk incubator), digambarkan ke diagram p-h (gambar 6). Sistem AC *split* (dengan incubator) menit ke-60. Berdasarkan hasil yang di plot pada diagram p-h didapat nilai-nilai sebagai berikut:



Gambar 6. Diagram p-h (dengan incubator)

$$\begin{aligned} T_{in} \text{ Evaporator} &= 15,6^\circ\text{C} = 288,6 \text{ K} \\ T_{in} \text{ Kondensator} &= 46,5^\circ\text{C} = 319,5 \text{ K} \\ h_1 &= 410,624 \text{ kJ/kg}; & h_3=h_4 &= 258,427 \text{ kJ/kg} \\ h_2 &= 430,289 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

1. Kerja Kompresi ( $q_w$ )  
 $q_w = h_2 - h_1 = 19,665 \text{ kJ/kg}$

2. Laju Aliran Massa Refrigeran ( $\dot{m}$ )

$$\begin{aligned} \dot{m} &= \frac{P \text{ Komp.}}{h_2 - h_1} \\ &= \frac{0,373 \text{ kJ/s}}{19,665 \text{ kJ/kg}} \\ &= 0,0190 \text{ Kg/s} \end{aligned}$$

3. Efek Pemanasan ( $q_c$ )  
 $q_c = h_2 - h_3 = 171,862 \text{ kJ/kg}$

4. Kapasitas Kondensator ( $Q_c$ )  
 $Q_c = \dot{m} \times q_c$   
 $= 0,0190 \text{ Kg/s} \times 171,862 \text{ kJ/kg}$   
 $= 3,265 \text{ kJ/s}$

5. Efek Pendinginan ( $q_e$ )  
 $q_e = h_1 - h_4 = 152,197 \text{ kJ/kg}$

6. Kapasitas evaporator ( $Q_e$ )

$$\begin{aligned} Q_e &= \dot{m} \times q_e \\ &= 0,0190 \text{ kg/s} \times 152,197 \text{ kJ/kg} \\ &= 2,891 \text{ kJ/s} \end{aligned}$$

7. Nilai Performansi (COP)

a.  $COP_{actual}$   
 $COP_{actual} = \frac{q_e}{q_w} = 7,74$

b.  $COP_{carnot}$   
 $COP_{carnot} = \frac{Temp. \text{ Evaporasi (K)}}{Temp. \text{ Kondensasi (K)} - Temp. \text{ Evaporasi (K)}}$   
 $= 9,33$

8. Efisiensi system refrigerasi (dengan incubator)

$$\eta = \frac{COP_{actual}}{COP_{carnot}} \times 100\% = 82 \%$$

### Hasil Perhitungan Perbandingan Efisiensi Sistem Pendingin

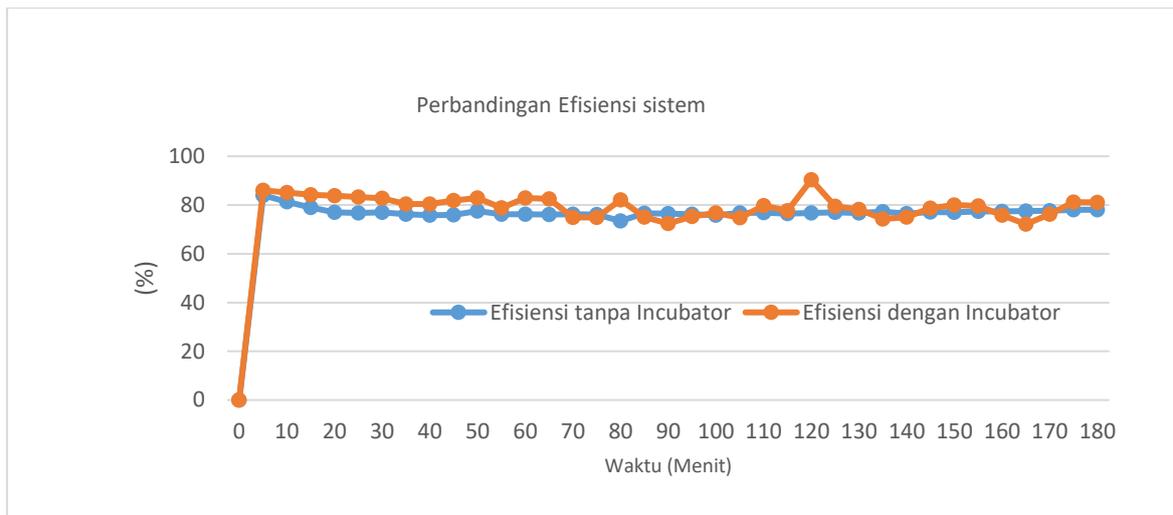
Perbandingan data yang dimaksud meliputi perbandingan kerja kompresi, efek refrigerasi, efek kondensasi, COP Actual, COP Carnot dan efisiensi dari kedua data yang berbeda pada menit ke-60. Adapun perbandingan hasil data dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1. Perbandingan Efisiensi Pendingin

Variabel	Perbandingan sistem AC <i>split</i>	
	Tanpa incubator	Dengan incubator
COP Actual	4,74	7,74
COP Carnot	6,23	9,33
Efisiensi pendingin %	76	82
Efek refrigerasi kJ/kg	139,096	152,197
Efek kondensasi kJ/kg	168,404	171,862
Kerja Kompresi kJ/kg	29,308	19,665

Dari tabel diatas dapat diketahui perbandingan efisiensi refrigerasi untuk AC split yang dimodifikasi untuk memanaskan incubator bayi memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan AC split tanpa incubator.

Pada gambar di bawah terlihat grafik perbandingan efisiensi refrigerasi AC split menggunakan incubator dan tanpa incubator dalam durasi waktu 180 menit.



Gambar 7. Perbandingan Efisiensi Sistem Refrigerasi

Pada gambar gambar 7. dari menit ke-5 sampai menit ke-65 efisiensi dari sistem yang menggunakan inkubator lebih tinggi dibandingkan tanpa inkubator ,tetapi ada beberapa titik dimana penurunan efisisensi di bawah dari sistem yang tidak memakai inkubator namun dalam keseluruhan rata-rata dari sistem yang memakai inkubator mempunyai efisiensi lebih tinggi yaitu 79,47 % sedangkan sistem tanpa inkubator mempunyai efisiensi rata-rata yaitu 77,08 %.

#### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa pembahasan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Perbandingan efisiensi refrigerasi pada AC split dengan incubator bayi memiliki nilai tinggi sebesar 82%, sedangkan AC split tanpa incubator diperoleh 76%;
2. Efisiensi dan COP sistem AC split yang telah diolah dari data yang telah diambil melalui dua percobaan yaitu memakai incubator dengan nilai rata-rata = 77,32 %, dan tidak memakai incubator menunjukkan nilai rata-rata = 4,99 %;
3. Dari hasil data yang didapat sistem *prototype infant inkubator* menggunakan sumber panas yang memanfaatkan *line discharge compressor AC Split* tersebut suhu yang di inginkan tercapai pada menit ke 15 sebesar 32,5 °C dan untuk kelembaban udara dalam waktu 180 menit di dalam kabin inkubator masih belum tercapai pada nilai yang di inginkan yaitu 50-

60% dan hasil aktual rata-ratanya hanya mendapat 49,5%;

#### SARAN

Untuk pengembangan penelitian sebaiknya pipa keluaran kompresor yang menuju alat penukar kalor di insulasi sehingga mengurangi *heat loss* pada pipa karena kontak langsung dengan udara luar. Disamping itu penempatan indoor unit AC agar dipertimbangkan tidak terlalu dekat dengan incubator bayi sehingga temperature dan kelembaban lebih tercapai. Dan agar hasil pengujian yang lebih optimal perlu dilakukan pada kondisi temperatur lingkungan yang stabil. Karena perbedaan temperatur lingkungan sangat mempengaruhi temperatur refrigeran.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Budiono, 2013. Desain dan Pembuatan Inkubator Berbasis Mikrokontroler dengan Logika Fuzzy Jurnal Gamma, ISSN 2086-3071, Vol.9, No.1, Hal.117-123;
  - [2] Marwani, Lentu. Hutabarat, Nico Demus River Firman. 2017. Penggunaan Sensor DHT11 Sebagai Indikator Suhu dan Kelembaban Pada Baby Incubator, Jurnal Mutiara Elektromedik, Vol.1, No.1;
  - [3] G Pita, Edward. 1981 . Air Conditioning Principles and Systems. Fourth Edition. New Jersey. Pearson Education, Inc. USA
- Dossat, R. J . 1961 . Principles of Refrigeration. Wiley International Edition. New Jersey. Associate Professor Refrigeration and air Conditioning, University of Huston. Texas.

Ardy Nur Hidayat<sup>1\*</sup>, Dr.Prantasi Harmi Tjahjanti<sup>2</sup><sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Jl. Raya Gelam 250 Candi, Sidoarjo, Telp (031) 8921938, Fax (031) 8949333<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Jl. Raya Gelam 250 Candi, Sidoarjo, Telp (031) 8921938, Fax (031) 8949333

Email: \*ardynurhidayat21@gmail.com

**ABSTRAK**

Korosi dan baja merupakan dua hal yang tidak terpisahkan, keduanya merupakan sesuatu yang saling terkait satu hal sama lain. Kehilangan massa, berkurangnya permukaan, menurunnya masa pakai itu lah dampak dari terjadinya korosi. Muncul Graphene yang tereduksi oleh oksigen menjadi Graphene Oxide menjadi alternative untuk masalah korosi. Dalam penelitian ini beberapa upaya untuk memperlambat terjadinya korosi. Pembuatan lapisan logam dengan Graphene Oxide di campur dengan Waterborne polyester. Campuran yang digunakan dengan komposisi Graphene Oxide 15% + Waterborne 85%, Graphene Oxide 20% + Waterborne 80% , dan Graphene Oxide 25% + 75% Waterborne yang diuji perendaman pada media air laut selama 2,4, dan 6 jam. Hasil nya lapisan dengan komposisi Graphene Oxide 25% + 75% Waterborne mempunyai rata – rata CPR 0,00037 mm/year merupakan yang terendah. Dilihat dari uji Mikroskop Optic persebaran laju korosi masih berupa butir – butir korosi yang kecil.

Kata Kunci: Baja, Korosi, *Graphene Oxide***PENDAHULUAN**

Berbeda dari bahan logam, bahan polimer merupakan bahan dengan kemampuan menghantarkan listrik yang rendah dan tidak memiliki respon terhadap adanya medan magnet dari luar. Akan tetapi, bahan polimer memiliki ketahanan terhadap lingkungan yang bersifat korosif [2]. Melalui beberapa penelitian yang dilakukan sebagian bahan polimer ternyata dapat ditingkatkan konduktifitas listriknya dengan menambahkan bahan asam sehingga timbul fasa ke dua yang bersifat konduktif[3].

*Graphene* adalah sebuah material kimia yang terbaru, dan material terunggul didunia pada saat ini yang berbentuk sarang lebah yang memiliki struktur hexagonal seperti karbon yang hanya memiliki satu atom tunggal[1]. *Graphene* memiliki potensi besar dalam meningkatkan sifat bahan berbasis resin karena struktur kristal yang unik dan sifat fisik yang sangat baik dan turunannya dapat memulai reaksi polimerisasi[4]. Karena *graphene* memiliki luas permukaan spesifik yang besar dan energi permukaan yang tinggi, ia mudah teraglomerasi ketika ditambahkan sebagai pengisi ke resin epoksi. Penambahan *graphene* meningkatkan kinerja lapisan, tetapi ketika ditambahkan ke jumlah tertentu, akumulasi *graphene* akan mempengaruhi peningkatan kinerja pelapisan lebih lanjut. Tujuan dari penelitian ini

adalah untuk mengetahui persentase campuran antara *Graphene Oxide* dengan Waterborne polyester untuk memperlambat laju korosi pada pipa saluran air[5].

**METODOLOGI PENELITIAN**

Penelitian ini meliputi dua kegiatan utama yaitu pembuatan dan pengujian. Untuk pembuatan dilakukan di Laboratorium Fenomena Dasar Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. Untuk pengujian dilakukan di Laboratorium Fenomena Dasar Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo dan Laboratorium Industri, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya. pada bulan Agustus 2019. Peralatan dan bahan yang digunakan dalam pengujian adalah sebagai berikut:

- Spesimen dengan lapisan GO 15%+WB 85 ,GO 20%+WB 80% , GO 25%+WB 75%, Galvanis , dan origin
- Air laut
- Neraca timbangan dengan resolusi 0,000 mg
- Mikroskop optik

Prosedur Pengujian

- a) Mempersiapkan bahan dan alat yang digunakan

- b) Menimbang berat awal spesimen
- c) Merendam spesiemn ke dalam bak yang berisi air laut, dengan lama waktu perendaman 2,4, dan 6 jam
- d) Setiap waktu yang ditentukan spesimen ditimbang
- e) Setelah uji korosi ,dilakukan uji Mikroskop Optik untuk mengetahui lapisan terkorosi
- f) Setelah selesai pengujian ,dilakukan pengambilan data dan dan pembuatan pembahasan kepada spesimen yang diuji
- g) Kemudian dari pembahasan tersebut diambil kesimpulan dari hasil penelitian.

	6	0,00055
GW25	2	0,00041
	4	0,00057
	6	0,00013

Setelah dilakukan pengujian laju korosi terhadap spesimen dapat disimpulkan bahwa spseimen dengan lapisan Graphene Oxide 25% + Waterborne 75% mendapatkan hasil rata – rata CPR terendah dengan nilai < 0,0006 mm/year. Spesimen Origin mendaparkan rata – rata CPR tertinggi daripada spesimen yang lain dengan rata – rata CPR 0,00498 mm/year karena korosi menyerang langsung ke lapisan logam yang tidak mendapatkan perlindungan dari lapisan anti korosi. Laju korosi akan semakin kecil seiring dengan lamanya waktu perendaman dalam media korosif.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Hasil uji korosi

Media untuk uji laju korosi adalah air laut yang di ambil di perairan Surabaya berjarak 1 meter dari tepi pantai , waktu pengujian yang digunakan 2 jam, 4 jam , dan 6 jam. Berdasarkan data yang di peroleh dari hasil pegujian yang dilakukan maka perhitungan laku korosi menggunakan metode *weight loss* dilakukan dengan persamaan berikut :

$$\text{Laju Korosi} : \frac{W \cdot K}{D \cdot As \cdot T}$$

Keterangan :

W : Kehilangan berat = kehilangan berat spesimen(mg)

K : Konstanta = 8,76

D : Kerapatan jenis = 7,86 gr/cm<sup>3</sup>

As: Luas permukaan = 35,796 cm<sup>2</sup>

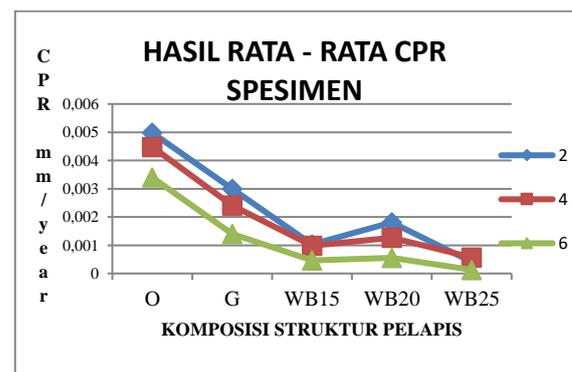
T : Waktu = 2 jam , 4 jam, dan 6 jam

Hasil pengujian korosi di dapat hasil berikut:

Tabel 1 Rata – rata korosi spesimen

Spesimen	Waktu Perendaman (Jam)	Rata-rata korosi (mm/yr)
Origin	2	0,00498
	4	0,00448
	6	0,00340
Galvanis	2	0,00300
	4	0,00241
	6	0,00140
GW15	2	0,00103
	4	0,00098
	6	0,00046
GW20	2	0,00181
	4	0,00127

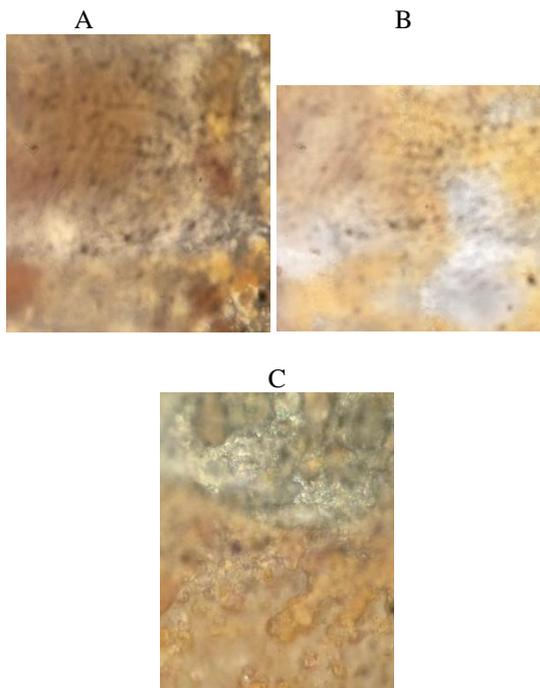
#### Analisa pengaruh waktu perendaman dengan laju korosi



Grafik 1. Grafik rata – rata CPR spesimen

Laju korosi dipengaruhi berbagai banyak faktor yaitu jenis logam dan paduan , lingkungan , tempertaur , keasaman (pH) larutan , dan organism yang terkandung dalam larutan. Dari grafik diatas menunjukkan bahwa semakin lama waktu perendaman semakin kecil laju korosi yang terjadi. Menurunnya laju korosi disebabkan karena proses pembentukan senyawa logam yang diakibatkan sutru reaksi kimia di permukaan logam untuk mencegah proses perkaratan lebih lanjut, rekasi tersebut adalah pasivasi[6]

## Uji Mikroskop Optik



Gambar 1. Hasil Uji Mikroskopik

Terlihat dari uji Mikroskop Optik diatas bahwa Pada hasil uji mikroskop optic pada spesimen A dengan lapisan Graphene Oxide 15% + 85% waterborne korosi yang terjadi masih awal sehingga permukaan spesimen berwarna kecoklatan berarti adanya reaksi kimia yang terjadi. Besi yang bereaksi dengan air dan ion  $-ion$  yang ada didalam media korosif serta bereaksi dengan adanya oksigen yang ada sehingga menimbulkan korosi. Korosi ini masih bersifat butir-butir korosif dan penyebarannya, yang berwarna putih merupakan lapisan dari spesimen yang belum terkorosi.

Untuk hasil uji mikroskop optic terhadap spesimen B dengan lapisan Graphene oxide 20%+Waterborne 80% korosi sudah terjadi lebih lanjut dengan di tunjikan dengan warna kecoklatan lebih pekat dan timbul gumpalan – gumpalan pada area korosif yang lebih lanjut. Gumpalan – gumpalan terbentuk karena butir - butir korosi terjadi disuatu area korosif dan menggumpal sehingga area korosif tersebut terkena korosif yang lebih parah. Korosi yang terjadi pada spesimen ini menyerang satu titik di permukaan spesimen tersebut. Masih terdapat area yang belum terkena korosi itu dibuktikan dengan warna putih yang terdapat pada hasil uji spesimen tersebut.

Pada hasil uji laju korosi spesimen C dengan lapisan Graphene 25%+Waterborne 75% menjadi lapisan yang memiliki rata – rata laju korosi terkecil dibanding spesimen yang lain. Dilihat dari uji mikroskop optic persebaran korosi berupa berwarna kecoklatan yang tidak ada

gumpalan – gumpalan korosi yang parah. Lapisan spesimen masih terlihat dengan ditunjukkan warna putih sehingga dapat memperlambat laju korosi yang terjadi. Lapisan dengan komposisi Graphene lebih banyak terbukti dapat memperlambat laju korosi karena sifatnya yang bisa menjadi tahan korosi.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian uji korosi terhadap variasi spesimen dan variasi waktu perendaman dapat di tarik kesimpulan bahwa:

1. Pengaruh variasi lapisan Graphene Oxide dengan Waterborne Polyester menunjukkan pada GO 15% CPR yang dihasilkan menurun dengan CPR terendah 0,00046 mm/year perendaman 6 jam. Pada rentang GO 15% sampai GO 20% CPR yang diperoleh meningkat dengan 0,00055 mm/year perendaman 6 jam, pada rentang GO 20% sampai 25% CPR yang dihasilkan menurun dengan 0,00013 mm/year dengan perendaman 6 jam. Pada rentang 15% sampai 20% naik dikarenakan korosi yang menyerang satu area yang menggumpal dan membentuk bunga korosi yang parah menyebabkan laju korosi tinggi
2. Pengaruh laju korosi terhadap waktu perendaman semakin lama waktu perendaman maka laju korosi semakin menurun itu diakibatkan karena adanya pasivasi yang terjadi pada permukaan dan dapat bertambah ketika pasivasi tersebut rusak. Salah satu contoh pada lapisan Graphene 25% + Waterborne 75 % dalam waktu perendaman 2 jam mendapai nilai CPR sebesar 4,15 mm/year, pada waktu perendaman 4 jam mengalami peningkatan laju korosi menjadi 5,70 mm/year. pada waktu perendaman 6 jam mengalami penurunan laju korosi 1,38 mm/year. Dari hasil pengujian tersebut dapat dikatakan laju korosi dapat menurun ketika lapisan pasivasi mulai terbentuk pada permukaan spesimen

## SARAN

1. Menggunakan air yang mengalir untuk media uji
2. Pipa galvanis merupakan pipa yang sudah sering digunakan dalam pengaliran air baik dari pegunungan maupun daerah perairan, oleh karena itu untuk peneliti yang diharapkan menggunakan material yang lain untuk dinandingkan dengan lapisan yang sudah tercampur Graphene sehingga mendapatkan material yang terbaik untuk pipa air

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Andre.K.Geim, & Novoselov, K. (2007). *THE RISE OF GRAPHENE*. 1-11.
- [2] AndriPermana, & Darminto. (2012). *Fabrikasi polianilin dan TiO<sub>2</sub> dan aplikasinya sebagai bahan pelindung anti korosi pada lingkungan statis,dinamis,dan atmosferik. Jurnal Fisika dan aplikasinya* , 1-4.
- [3] Aulia, A., Budiono, I. A., & Mawarani, L. J. (n.d.). *Aplikasi Komposit Polianilin (PANi) – TiO Sebagai Pelapis Tahan Korosi Logam Besi pada Korosi Atmosferik*. 1-7.
- [4] S.Hummers, W., & E.Offeman, R. (1958). *Preparation of Graphitic Oxide*. 1339.
- [5] Stankovich, s., A.Dikin, D., Geofrfry H.B.Dommet, K. M., J.Zimney, E., A.Stach, E., D.Piner, R., et al. (2006). *Graphene based composite materials*. 282-286.
- [6] Syakir, N., Nurlina, R., Anam, S., Aprilia, A., Hidayat, S., & Fitrilawati. (2015). *Kajian Pembuatan Oksida Grafit untuk Produksi Oksida Grafena dalam jumlah besar. Jurnal Fisika Indonesia* , 26-29

**APLIKASI TEKNOLOGI *DOWNHOLE WATER LOOP* (DWL) UNTUK PRODUKSI MINYAK BERAT**Hadziqul Abror<sup>1\*</sup>, Eriska Eklezia Dwi Saputri<sup>1</sup>, Amega Yasutra<sup>2</sup><sup>1</sup>Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37, Jember, 68121<sup>2</sup>Teknik Perminyakan, FTTM, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesa No. 10, Bandung, 40132

Email: \*hadziqulabror@unej.ac.id

**ABSTRAK**

Untuk memproduksi migas non konvensional dibutuhkan strategi dan teknologi khusus yang berbeda dengan migas konvensional. Salah satu bentuk reservoir non konvensional adalah reservoir minyak berat, minyak yang memiliki viskositas dan densitas besar. Tantangan dalam memproduksi minyak berat adalah karena sifat dari fluida itu sendiri yang sulit mengalir pada media berpori. Selain itu, jika reservoir tersebut bertenaga pendorong air maka proses produksinya akan lebih kompleks dengan adanya water coning. Terdapat dua teknologi dasar dalam memproduksikannya, yaitu berbasis cold dan thermal recovery. Pengaplikasian thermal recovery sudah sangat banyak, misalnya huff and puff, injeksi uap, dan lain-lain. Pada penelitian ini dilakukan studi terkait pengaplikasian teknologi downhole water loop untuk memproduksi minyak berat. Teknologi ini terbukti ampuh dalam meningkatkan recovery factor pada produksi minyak ringan. Untuk itu, teknologi ini perlu diuji untuk aplikasi produksi minyak berat. Pada penelitian ini, besar peningkatan produksi minyak (recovery factor) dengan metode DWL sebesar 11.54% dibandingkan dengan cara konvensional dengan menggunakan satu kompleks. Selain itu, diberikan pula rekomendasi-rekomendasi untuk penelitian lebih lanjut.

Kata kunci: minyak berat, *downhole water loop*, *recovery factor*

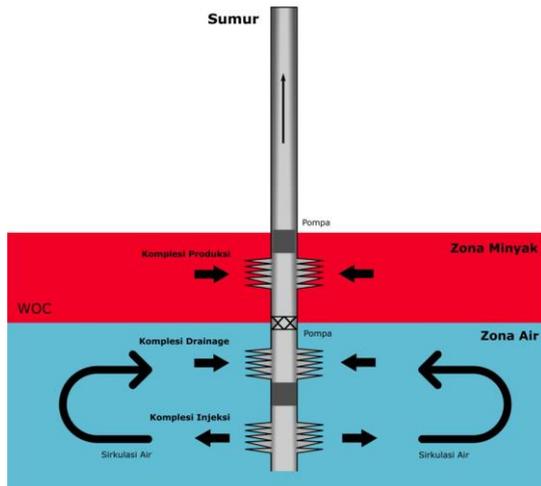
**PENDAHULUAN**

Minyak berat merupakan jenis crude oil yang memiliki karakteristik viskositas dan densitas yang tinggi (API gravity yang rendah) sehingga memiliki kemampuan mengalir yang rendah. Padahal cadangan minyak berat di dunia sangat besar dari cadangan minyak dunia yang ada. Untuk memproduksikannya diperlukan strategi-strategi khusus dan biaya yang lebih besar daripada minyak ringan. Hal ini karena minyak berat memiliki viskositas dan densitas yang tinggi. Minyak jenis ini memiliki kemampuan untuk mengalir pada media berpori sangat rendah.

Kesulitan memproduksi minyak jenis ini semakin meningkat ketika karakteristik dari reservoir minyak berupa *water drive reservoir*, yaitu reservoir dengan tenaga pendorong berupa air, adanya *bottom aquifer*. Masalah utama untuk reservoir dengan *bottom aquifer* adalah *water coning*, yaitu peristiwa timbulnya kerucut air yang dapat menghalangi aliran minyak ke sumur produksi. *Water coning* ini bisa terjadi karena adanya tekanan yang hilang akibat produksi minyak sehingga mengakibatkan air mengalir naik membentuk semacam kerucut air (*water cone*)

sampai ke perforasi dan akhirnya ikut terproduksi. Untuk mengantisipasi ini, maka dilakukan beberapa strategi untuk meminimalisir terjadinya *water coning* diantaranya dengan menempatkan perforasi jauh dari batas kontak minyak-air dan produksi di bawah laju alir kritis.

Selain itu, terdapat juga metode *Downhole Water Loop* (DWL) yaitu dengan memproduksi dengan minyak dan air dengan kompleks yang berbeda. Bagian utama dari sistem DWL adalah adanya tiga kompleks. Ketiga kompleks tersebut adalah kompleks atas pada zona minyak yang berfungsi memproduksi minyak (kompleks produksi), kompleks tengah pada zona air (kompleks *drainage*), yang berfungsi mengalirkan air dari reservoir ke kompleks injeksi, serta kompleks injeksi yang berfungsi menginjeksikan air kembali ke reservoir dengan tujuan menjaga tekanan reservoir (*pressure maintenance*).



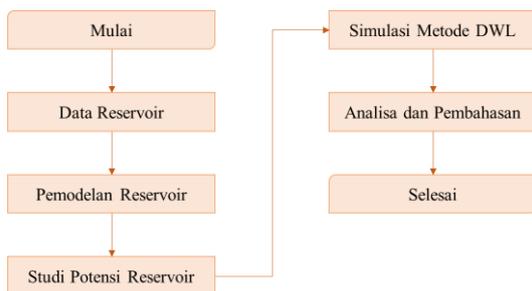
Gambar 1. Skema downhole water loop

Dalam sistem ini, dipasang sebuah *packer* pada kompleksi antara zona minyak dan air untuk mengurangi air yang ikut terproduksi melalui tubing sampai ke permukaan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaplikasian teknologi *downhole water loop* pada reservoir minyak berat dengan tenaga pendorong air serta mempelajari seberapa besar peningkatan produksi minyak ketika teknologi ini diterapkan.

## METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini merupakan studi simulasi reservoir dengan karakteristik reservoir minyak berat dengan tenaga pendorong air. Reservoir dimodelkan dengan menggunakan perangkat lunak Eclipse, yaitu perangkat lunak yang dapat digunakan untuk proses simulasi reservoir dan juga untuk membangun *simple grid model*. Alur penelitian sebagai berikut:



Gambar 2. Alur penelitian

Model fluida yang digunakan adalah *black oil* dengan karakteristik batuan dan fluida sebagai berikut:

- Permeabilitas vertikal 5625 mD
- Permeabilitas horizontal 7500 mD
- Porositas 35%
- API Gravity < 22

- Viskositas vs temperature dengan korelasi Kartoatmojo
- Kompresibilitas minyak  $5 \times 10^{-6}$  /psi
- Densitas air 6.23 lbm/ft<sup>3</sup>
- Densitas gas  $7.52 \times 10^{-2}$  lbm/ft<sup>3</sup>
- Temperatur reservoir 125 °F
- Kedalaman datum 1505 ft
- Referensi tekanan datum 677 psi
- Koordinat kartesian dengan grid 40x40x20
- Jumlah block 32.000
- Kedalaman batas air-minyak 1605 ft
- Kedalaman batas gas-minyak 1505 ft

Asumsi dari model ini adalah homogen dan isotropis. Homogen artinya porositas memiliki nilai yang sama di semua *grid block*, sedangkan isotropis berarti besar nilai permeabilitas sama di semua *grid block*.

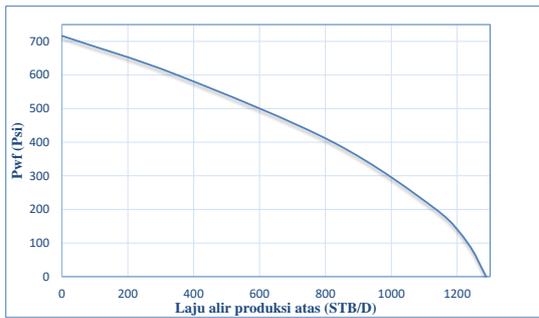
Setelah model terbentuk, maka dilakukan studi potensi reservoir yang meliputi *initial oil in place* (IOIP) serta berapa besar potensi minyak yang dapat diproduksi dengan menggunakan kurva *inflow performance relationship* (IPR).

Studi simulasi yang dilakukan adalah membandingkan produksi minyak antara sumur konvensional dan sumur dengan sistem DWL. Dari hasil simulasi, kemudian dilakukan analisa dan pembahasan terkait potensi reservoir, peningkatan perolehan minyak serta faktor water coning yang memiliki kontribusi signifikan dalam memproduksi minyak pada *water drive reservoir*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Studi Potensi Reservoir

Besarnya *initial oil in place* (IOIP) dari model reservoir adalah 18.645 MMRB. Salah satu indikator untuk mengetahui potensi produksi dari suatu sumur adalah *productivity index* (PI), yaitu perbandingan antara laju produksi yang dihasilkan oleh suatu sumur pada suatu harga tekanan alir dasar sumur tertentu dengan perbedaan tekanan dasar sumur pada keadaan statik ( $P_r$ ) dan tekanan dasar sumur pada saat terjadi aliran ( $P_{wf}$ ). Besarnya PI ini merupakan suatu perhitungan kuantitatif, sedangkan untuk merencanakan skenario produksi sumur dipergunakanlah kurva *Inflow Performance Relationship* (IPR), yaitu sebuah kurva yang menghubungkan antara tekanan alir di dasar sumur ( $P_{wf}$ ) terhadap laju alir ( $Q$ ). Sebagai pendekatan untuk mengetahui potensi sumur, digunakan kurva IPR Vogel. Kurva IPR dari sumur produksi dalam simulasi ini adalah sebagaimana Gambar 3.

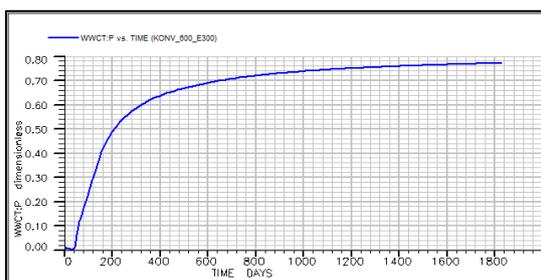


Gambar 3. Kurva IPR sumur produksi

Dari hasil simulasi didapatkan batas maksimum laju alir yang dapat diproduksi sebesar 1280 STB/D. Namun demikian, besar laju alir yang direkomendasikan biasanya berkisar antara 40%-60% dari laju alir maksimumnya, atau dalam kasus ini sekitar 512 STB/D – 760 STB/D.

Produksi minyak dalam jumlah besar, lebih besar dari laju alir kritis, menimbulkan masalah *water coning* yang dapat mengurangi perolehan minyak. Untuk itu, perlu diuji perilaku *water cut* (WC) dari sumuran tersebut. Pada simulasi ini, dilakukan produksi dengan laju alir sebesar 600 STB/D selama lima tahun yang menghasilkan profil WC sebagaimana Gambar 4.

Didapatlah hasil dari simulasi tersebut, pada hari ke-38, besar *water cut* naik secara signifikan. Ini menandakan bahwa air dari *aquifer* sudah masuk ke perforasi produksi minyak. *Water coning* terjadi dengan sangat cepat, hal ini karena kuatnya gaya dorongan air dari *aquifer*. Dari sini terlihat bahwa masalah *water coning* menjadi masalah yang serius dari produksi minyak berat dengan tenaga pendorong air dari *aquifer*.



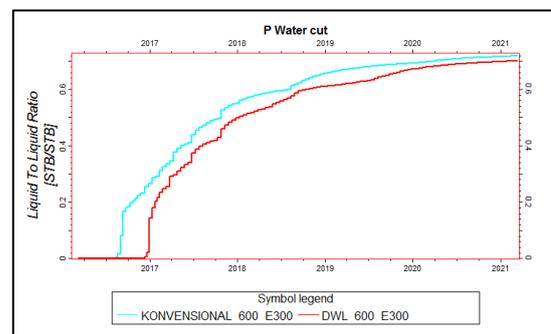
Gambar 4. Profil WC sumur konvensional

### Hasil Uji Sumur Konvensional dan DWL

Jin dan Qojtanowicz telah mengaplikasikan metode DWL untuk reservoir minyak ringan dengan tenaga pendorong air. Metode DWL ini adalah menggunakan tiga buah kompleks, yaitu kompleks atas untuk memproduksi minyak, kompleks tengah untuk mengalirkan alir, dan kompleks bawah untuk menginjeksikan air kembali ke *aquifer*. Ketika sumur diproduksi dengan kompleks atas, maka terjadi penurunan tekanan di

daerah sekitar kompleks atas. Akibatnya batas air-minyak akan naik dan menjadi tidak stabil. Sesuai dengan prinsip bahwa fluida mengalir dari tekanan yang tinggi ke tekanan yang rendah, maka air dari *aquifer* akan naik sampai ke perforasi produksi di kompleks atas. Dengan metode DWL, ada mekanisme pengurasan air di bawah batas air-minyak. Dengan adanya pengurasan ini, maka tercipta suatu penurunan tekanan tandingan di bawah batas air-minyak. Dengan adanya penurunan tekanan tandingan ini, maka batas air-minyak lebih stabil sehingga *water coning* dapat diminimalisir. Dengan adanya proses injeksi kembali, gangguan tekanan dapat diminimalisir dan mekanisme pengontrolan *water coning* dapat dipelihara [4].

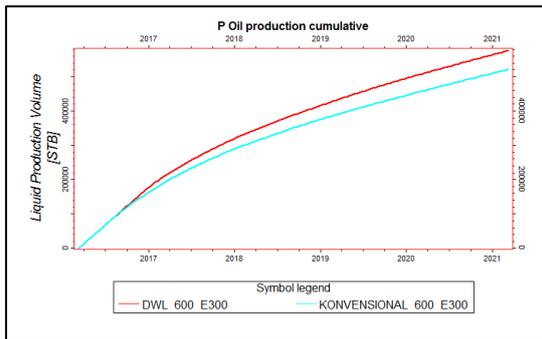
Pada penelitian ini, metode DWL diaplikasikan untuk memproduksi minyak berat pada reservoir dengan tenaga pendrong air. Dilakukan simulasi metode DWL dengan laju alir produksi sebesar 600 STB/D (50% dari laju alir potensial). Untuk besar laju alir pengurasan pada kompleks drainage diatur agar tidak menimbulkan masalah *reverse coning*, yaitu ikut terproduksikannya minyak dari oil zone ke kompleks *drainage*. Hasil simulasi produksi dengan metode DWL tersebut dibandingkan dengan sumur konvensional dengan laju alir produksi sebesar 600 STB/D.



Gambar 5. Perbandingan *water cut* antara metode DWL dengan sumur konvensional

Berdasarkan profil *water cut* Gambar 5 di atas, maka dengan metode DWL menunda terjadinya *water coning*, pada kasus ini menunda *water coning* selama tiga bulan. Penundaan ini diakibatkan karena adanya penurunan tekanan di bawah batas air-minyak yang disebabkan oleh pengurasan air di kompleks *drainage*. Ketika produksi sudah sampai pada Januari 2017, penurunan tekanan tandingan oleh kompleks *drainage* lebih kecil daripada penurunan tekanan pada kompleks produksi, akibatnya batas air-minyak menjadi tidak stabil dan air *aquifer* naik sampai ke perforasi produksi (*breakthrough*). Ketika sudah terjadi *breakthrough*, dengan mobilitas air yang lebih besar daripada mobilitas minyak, maka laju alir air pada kompleks produksi

naik secara signifikan. Pada Februari 2018, *water cut* lebih dari 50%.



Gambar 6. Perbandingan produksi minyak pada sumur konvensional dan DWL

Dengan penurunan *water cut* tersebut, maka produksi minyak akan lebih besar. Selain itu, metode DWL dapat mengurangi produksi air sehingga dapat mengurangi kapasitas fasilitas permukaan untuk proses *water treatment* serta biaya konstruksinya.

Dengan laju alir yang sama, yaitu 600 STB/D, produksi minyak menggunakan cara konvensional sebesar 520.000 STB/D sedangkan dengan metode DWL produksi minyaknya sebesar 580.000 STB/D. Ini berarti besar peningkatan produksi minyak (*recovery factor*) akibat diterapkannya metode DWL adalah sebesar 11,54%. Besar peningkatan tersebut terjadi karena dengan metode DWL dapat memperkecil *water cut* dan mengurangi produksi air. Sehingga dengan pengaturan laju alir yang sama ( $Q=600$  STB/D) menghasilkan produksi minyak kumulatif yang lebih besar.

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian aplikasi teknologi *downhole water loop* (DWL) untuk produksi minyak berat dengan tenaga pendorong air maka dapat diambil kesimpulan bahwa metode DWL dapat diaplikasikan untuk mengurangi besar *water coning* serta meningkatkan perolehan minyak untuk reservoir minyak berat dengan tenaga pendorong air. Besarnya peningkatan produksi minyak (*recovery factor*) dengan menggunakan metode DWL dibandingkan dengan metode konvensional sebesar 11,54%.

## SARAN

Saran yang dapat diusulkan untuk penelitian selanjutnya adalah dengan adanya proses pemanasan sepanjang pipa produksi (tubing), penambahan panas saat injeksi ke reservoir, pengontrolan laju alir dan *scheduling* waktu produksi, serta perlu dilakukan optimasi produksi terintegrasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Salam, D. D., Gunardi, I., dan Yasutra, A. 2015. *Production optimization strategy using hybrid genetic algorithm*, Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference, Abu Dhabi, UAE, SPE-177442, 5 - 7.
- [2] Yasutra, A. 2013. *Metoda Optimisasi Secara Kontinu Terintegrasi Sistem Subsurface dengan Batasan Fasilitas Permukaan Untuk Pengembangan Lapangan Migas*, Disertasi Program Doktor, Institut Teknologi Bandung.
- [3] Jin, L., dan Wojtanowicz, A. K. 2011. *Minimum produced water from oil wells with water-coning control and water loop installations*, SPE Americas E&P Health, Safety, Security and Environmental Conference, Houston, Texas, USA, SPE 143715, 1 - 4.
- [4] Wojtanowicz, A.K., dan Qin, W. 2010. *Improved heavy oil recovery with bottom water using downhole water sink (DWS) technology*, Journal of Louisiana State University, 467 - 483.
- [5] Qin, W., dan Wojtanowicz, A.K. 2007. *Well performance analysis for heavy oil with water coning*. Petroleum Society's 8th Canadian International Petroleum Conference (58th Annual Technical Meeting), Alberta, Canada, 162.
- [6] Astutik, W. 2007. *Studi tentang teknologi downhole water sink (DWS): desain DWS yang optimum untuk sumur vertical dengan mempertimbangkan beberapa parameter reservoir*, Tugas Akhir Program Sarjana, Institut Teknologi Bandung.
- [7] Marhaendrajana, T. dan Alliyah, I. 2006. *Oil production enhancement using bottomhole water sink: a Guideline for optimum design application*, Proseding Simposium Nasional dan Kongres IX Ikatan Ahli Teknik Perminyakan Indonesia, Jakarta, Indonesia, IATMI 2006-TS-27.
- [8] Albooudwarej, H., Felix, J., Taylor, S. 2006. *Highlight heavy oil*, Oil field review summer 2006, 34 - 53.
- [9] Ju, B., Dai, S., Fan, T., Wang, X., dan Wu, H. 2005. *An effective method to improve recovery of heavy oil reservoir with bottom water drive*, International Petroleum Technology Conference, Doha, Qatar, IPTC 10521, 1 - 4.
- [10] Arslan, O., White, C. D., dan Wojtanowicz, A. K. 2004. *Nodal analysis for oil wells with downhole water sink completions*, The Petroleum Society's 5th Canadian International Petroleum Conference (55th Annual Technical Meeting), Calgary, Alberta, Canada, 2004-242.
- [11] Shirman, E. I., dan Wojtanowicz, A. K. 2004. *More oil using downhole water sink*

- [12] *technology a feasibility study*, The 1998 SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, Louisiana, SPE 66532, 234 – 240.
- [13] Kartoatmodjo, R.S.T., dan Schmidt, Z. 1991. *New correlations for crude oil physical properties*, SPE Technical Publication, SPE 23556.

- [14] Sobocinski, D. P., dan Cornelius, A. J. 1965. *A correlation for predicting water coning time*, Journal of Petroleum Technology, 234, 594 – 600.

## INVESTIGASI GEOMETRI DIFFUSER BULAT-PERSEGI EMPAT PADA TURBIN AIR BANKI BERBASIS CFD

Sirojuddin<sup>1\*</sup>, Muhammad Sena I.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Staff Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta

<sup>2</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta Jakarta

Email : muhammadsenaidris2333@gmail.com

### ABSTRAK

Diffuser adalah alat untuk menaikkan tekanan fluida dengan jalan menurunkan kecepatannya. *Geometri diffuser* pada turbin air Banki akan sangat berpengaruh terhadap aliran air yang masuk kedalam ruang guide vane. Riset ini bertujuan untuk menginvestigasi suatu geometri diffuser yang berbentuk bulat-persegi empat saat aliran air masuk ke guide vane, agar diperoleh garis aliran air yang memenuhi seluruh ruangan, hali ini untuk menghindari terjadinya kavitasi dengan menggunakan *software* CFD. Dalam penelitian ini geometri diffuser didesain dalam 5 varian radius lengkung. Varian R-1 radius lengkung 0 mm, kemudian R-2 radius lengkung 150mm sedang R-3 sampai R-5 kenaikan radius masing-masing 50 mm. Gambar 2D menggunakan *software* AutoCAD, sedangkan gambar 3D menggunakan Solid Works. Analisa lintasan aliran menggunakan CFD SolidWorks Flow Simulation. Debit air masuk 2 m<sup>3</sup>/menit, tinggi jatuh 5,5 m , diameter bulat diffuser 125 mm, penampang persegi empat 200x125 mm panjang diffuser 250 mm. Berdasarkan hasil uji *software* CFD diperoleh varian R-4 adalah yang terbaik dimana garis lintasan alirannya memenuhi seluruh ruangan *diffuser*.

Kata kunci: Investigasi, Geometri, *Diffuser*, CFD Simulatiom, Lintasan Aliran

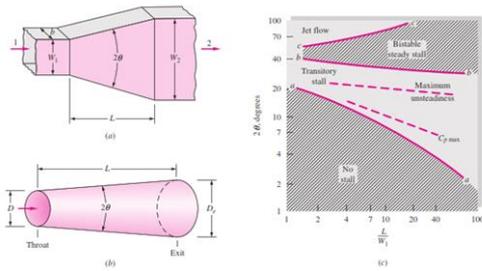
### PENDAHULUAN

Mikrohidro atau yang dimaksud dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), merupakan suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerakannya seperti, saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (head) dan jumlah debit air [1]. Pengembangan turbin arus sungai mempunyai kelemahan yaitu kecepatan aliran sungai yang relative kecil. Oleh karena itu untuk memenuhi daya sesuai kebutuhan maka berkembang sebuah alat yang disebut diffuser yang dipasangkan pada turbin untuk meningkatkan performansi turbin (diffuser augmented) [2]. Menganalisis desain baru dari *Nozzle-Diffuser* Sudu Tandem Savonius Turbin Air Crossflow dibuat untuk mengoptimalkan pengembangan desain savonius rotor sebelumnya dalam rangka untuk meningkatkan efisiensi. [3].

Penerapan diffuser ke turbin air yang menunjukkan peningkatan 1.3 kali dari turbin tanpa *diffuser* [4]. Dalam pemeriksaan turbin aliran aksial bahwa saluran lubang yang dipasang di tanki penarik memberitahu untuk meningkatkan

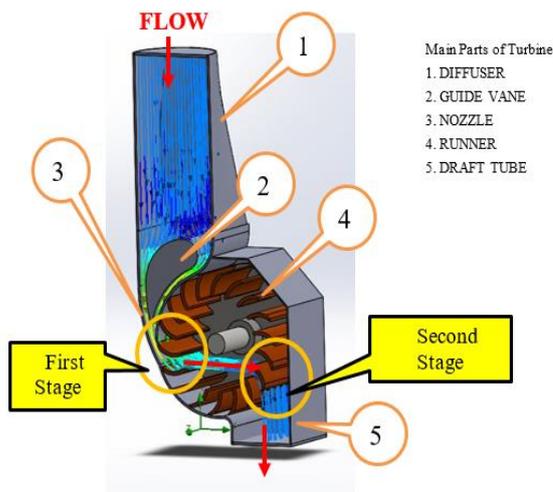
70% dari daya keluaran jika dibandingkan turbin tanpa diffuser [5]. *Diffuser* menciptakan gradien tekanan yang lebih tinggi, mampu menyalurkan aliran input dan mempercepatnya sesuai dengan turbin [6].

Turbin yang disalurkan menggunakan diffuser mampu membayar beban ganda dari turbin yang tidak menggunakan saluran tanpa diffuser [6]. Geometri diffuser pada turbin air akan sangat berpengaruh terhadap aliran masuk kedalam ruang *guide vane* [7]. Modifikasi dilakukan terhadap diffuser dengan diameter *inlet* dan *exit* masing – masing sebesar 4 dan 2 m. Modifikasi inlet dapat memperbaiki kinerja sebesar 1,4 %, sedangkan pada sudut angin 60°, kinerja berkurang sebesar 2,45%, disebabkan adanya separasi [8]. Faktor yang menarik adalah efek sudut diffuser, faktor augmentasi maksimum, dan koefisien daya rotor karena penggunaan diffuser [9]. Dalam buku [10] ditunjukkan hasil pengujian diffuser segi 4 dinding rata dan kerucut bulat seperti gambar berikut :



Gambar 1. Geometri Diffuser dan tipikal batasan aliran (a) geometri diffuser dinding rata, (b) geometri diffuser kerucut, (c) gambar stabilitas diffuser rata.

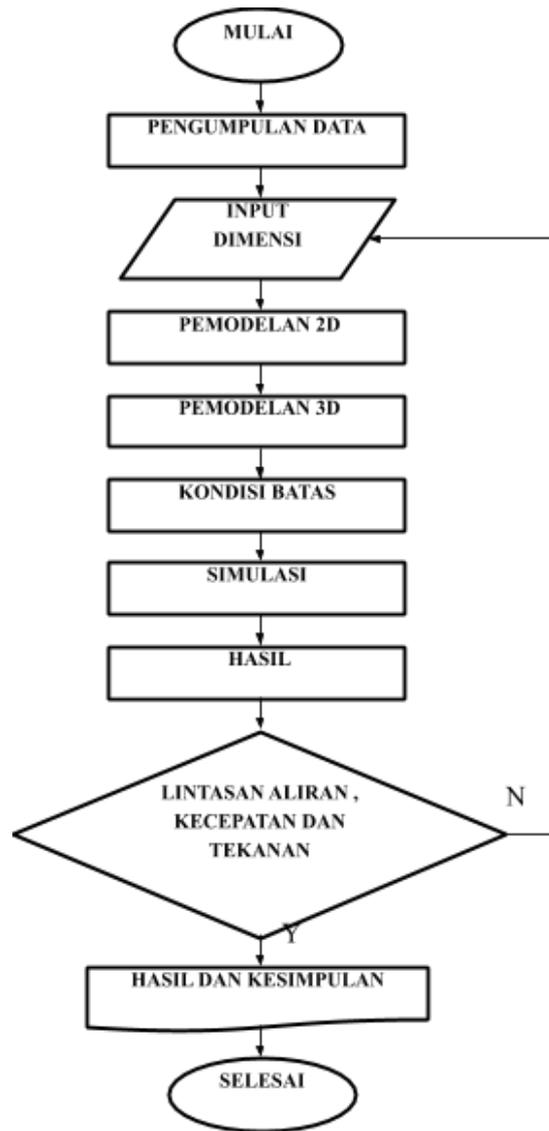
Riset ini bertujuan untuk menginvestigasi suatu geometri diffuser yang berbentuk bulat-persegi empat seperti ditunjukkan pada no. 1 gambar 2 dibawah ini, yaitu saat aliran masuk ke turbin banki, agar diperoleh garis aliran air yang memenuhi seluruh ruangan menggunakan software CFD.



Gambar 2. Turbin Banki

### METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Perancangan, Teknik Mesin, Universitas Negeri Jakarta menggunakan software AutoCAD dan SolidWork Flow Simulation. Diagram alir dapat dilihat pada gambar dibawah ini



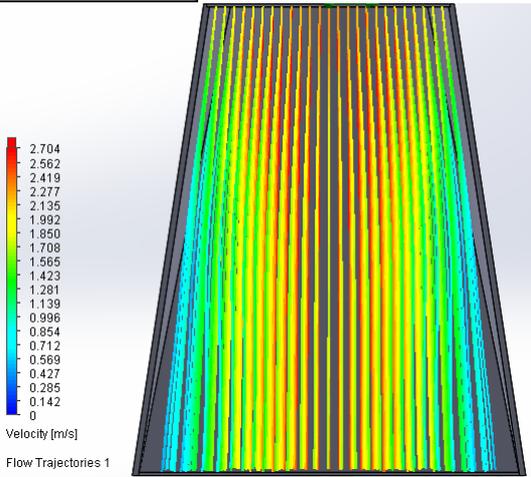
Gambar 3. Diagram Alir

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Hasil Simulasi Kecepatan Aliran

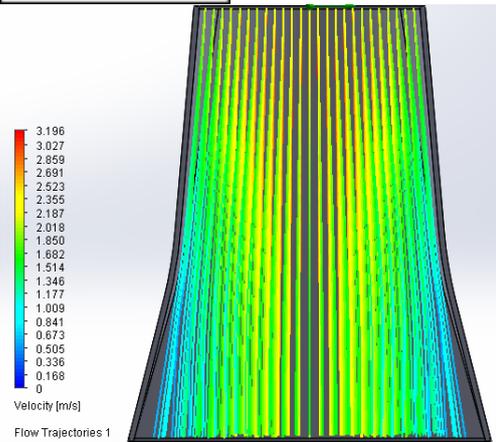
Dari hasil simulasi aliran menurut software CFD SolidWorks Flow Simulation diperoleh kontur kecepatan aliran sebagai berikut :

**Radius 0 mm**



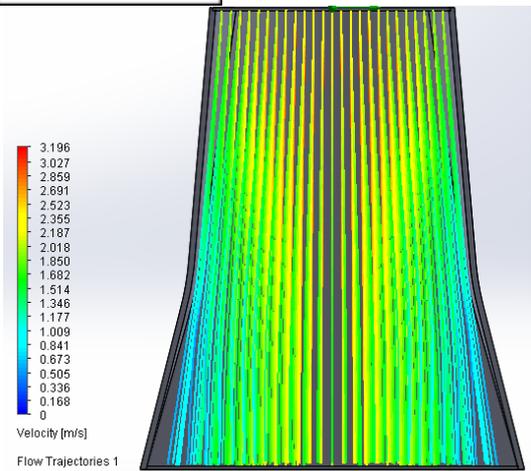
**(a)**

**Radius 250 mm**



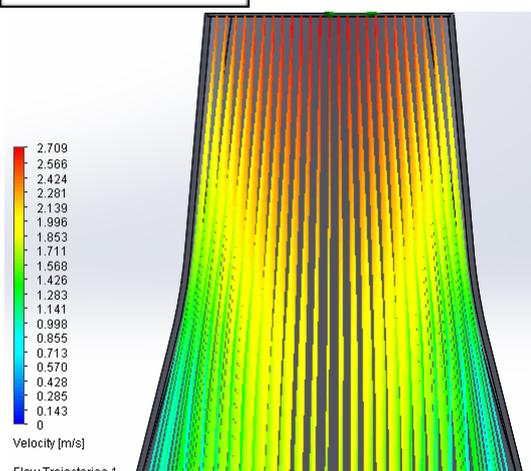
**(d)**

**Radius 150 mm**



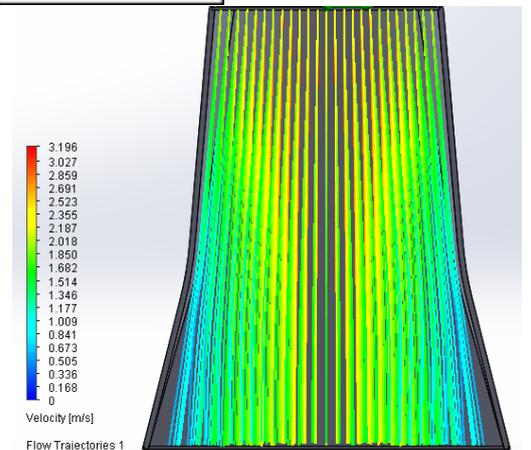
**(b)**

**Radius 300 mm**



**(e)**

**Radius 200 mm**

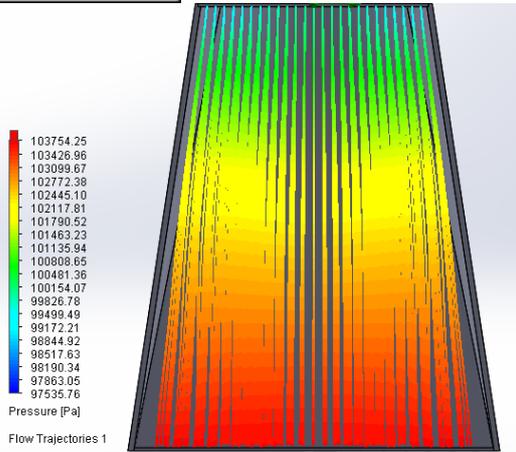


**(c)**

Gambar 4. Varian diffuser (a) R-1, (b) R-2, (c) R-3, (d) R-4, (e) R-5

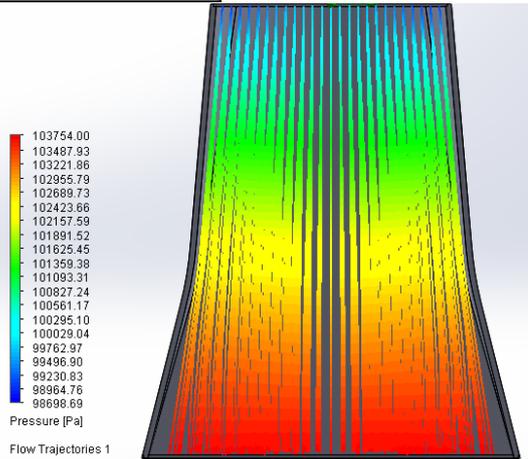
# Hasil Simulasi Tekanan Aliran

**Radius 0 mm**



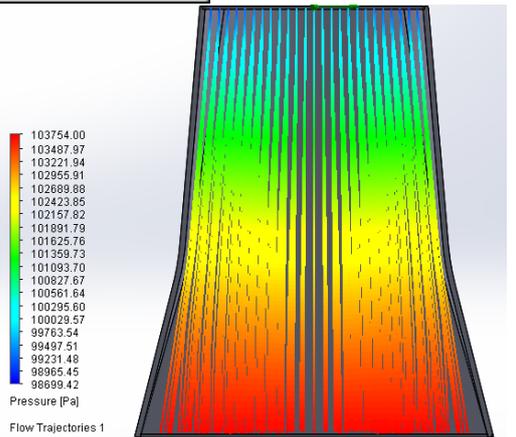
(a)

**Radius 200 mm**



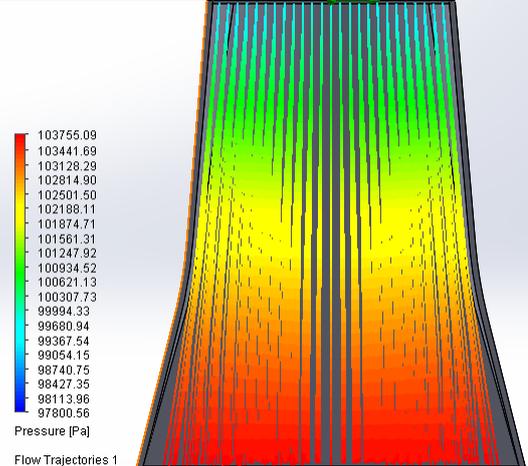
(c)

**Radius 150 mm**

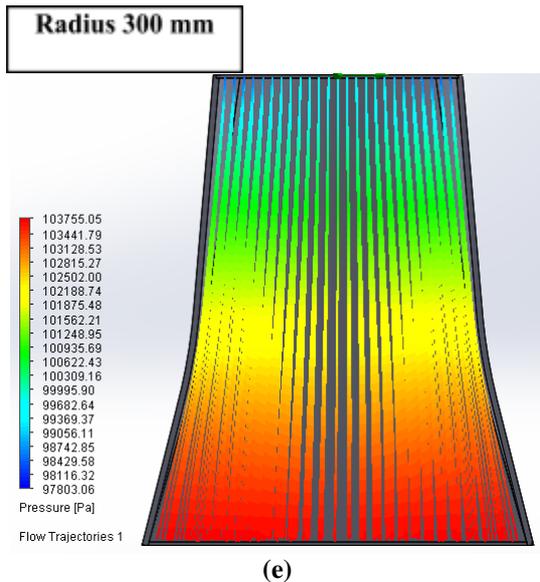


(b)

**Radius 250 mm**



(d)



(e)  
Gambar 5. Varian diffuser (a) R-1, (b) R-2, (c) R-3, (d) R-4, (e) R-5

### Pembahasan

Pada gambar 4 terlihat hasil lintasan aliran kecepatan pada varian R-1 sampai R-4 belum memenuhi seluruh ruangan, hal ini dikhawatirkan terjadinya kavitasi tetapi pada varian R-5 sudah kelihatan garis lintasan aliran memenuhi ruangan.

Pada gambar 5 terlihat hasil tekanan pada lintasan varian R-1 sampai R-4 pada sisi dinding ada ruangan yang kosong atau tekanannya rendah hal ini akan menyebabkan terjadinya kavitasi tetapi pada varian R-5 terlihat tidak ruang kosong pada dinding diffuser, dengan demikian diharapkan kavitasi tidak terjadi.

### KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini diperoleh varian R-5 dengan radius 300 mm adalah yang terbaik karena dilihat dari garis kecepatan dan tekanan aliran air dapat memenuhi seluruh ruangan diffuser sampai ke dindingnya. Terjadinya kavitasi pada dinding apabila tekanan sangat rendah sehingga fluida akan menguap pada suhu rendah, hal ini akan merusak dinding diffuser maupun komponen turbin yang lainnya.

### SARAN

Perlu dicari lagi bentuk diffuser yang lain yang juga dapat memenuhi seluruh ruangan baik dari segi kecepatan dan tekanan aliran air.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Adhikari, R., & Wood, D. (2018). *The design of high efficiency crossflow hydro turbines: A review and extension*. *Energies*. <https://doi.org/10.3390/en11020267>
- [2] Casini, M. (2015). *Small Vertical Axis Wind Turbines for Energy Efficiency of Buildings*. *Journal of Clean Energy Technologies*, 4(1), 56–65. <https://doi.org/10.7763/JOCET.2016.V4.254>
- [3] Khunthongjan, P., & Janyalertadun, A. (2012). *A study of diffuser angle effect on ducted water current turbine performance using CFD*. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 34(1), 61–67.
- [4] Kirke, B. (2003). *Developments in ducted water turbines*, 12. Retrieved from [www.cyberiad.net/library/pdf/bk\\_tidal\\_paper\\_25apr06.pdf](http://www.cyberiad.net/library/pdf/bk_tidal_paper_25apr06.pdf)
- [5] Mulkan, I., Hantoro, R., & Nugroho, G. (2012). *Analisa Performansi Turbin Arus Sungai Vertikal Aksis Terhadap Penambahan Variasi Panjang*. *Jurnal Teknik Pomits*, 1(1), 1–5.
- [6] Sulistyono, A., & Ahmad, J. (2011). *Simulasi Cfd Pada Diffuser Augmented Wind Turbine (Dawt): Efek Bentuk Inlet Dan Panjang Difuser Terhadap [Cfd Simulation In Diffuser Augmented Wind Turbine (Dawt): Effect Of Inlet Shape And Diffuser Length On Wind Speed Distribution At Diffuser Exit*.
- [7] Wahyudi, B., & Widodo, S. A. (2016). *Studi Simulasi Penggunaan Nozzle-Diffuser Savonius Tandem Pada Turbin Air Cross Flow Sumbu Vertikal (Crossvat)*. *SENTRINOV (Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif)*, 1(3), 73–79.
- [8] Wibowo, H., Daud, A., & Al Amin, M. B. (2015). *Kajian Teknis Dan Ekonomi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (Pltmh) Di Sungai Lematang Kota Pagar Alam*. *Cantilever*, 4(1), 34–41. <https://doi.org/10.35139/cantilever.v4i1.10>
- [9] Casini, M. (2015). *Small Vertical Axis Wind Turbines for Energy Efficiency of Buildings*. *Journal of Clean Energy Technologies*, 4(1), 56–65. <https://doi.org/10.7763/JOCET.2016.V4.254>
- [10] Fank M. White Seventh Edition. 2011. *Fluid Mechanics*

**PENGARUH JARAK CELAH UDARA GENERATOR MAGNET PERMANEN  
FLUKS AKSIAL *MULTISTAGE* PUTARAN RENDAH**Yusuf Ismail Nakhoda<sup>1\*</sup>, Choirul Soleh<sup>1</sup>, Eko Yohanes Setyawan<sup>2</sup><sup>1</sup>Electrical Engineering, National Institute of Technology Malang<sup>2</sup>Mechanical Engineering, National Institute of Technology MalangEmail: \*[yusuf\\_nakhoda@lecturer.itn.ac.id](mailto:yusuf_nakhoda@lecturer.itn.ac.id)**ABSTRAK**

Generator magnet permanen fluks aksial ini dirancang *multistage* putaran rendah menggunakan 2 cakram stator dan 3 cakram rotor, dimana setiap cakram rotor terdapat 10 kutub magnet permanen jenis Neodymium serta setiap statornya terdapat 10 kumparan, untuk menghasilkan putaran generator 600 rpm dan tegangan yang direncanakan pada setiap keluaran fasa stator nantinya akan dihubungkan seri atau paralel untuk pengujian. Generator ini diuji dengan variasi celah udara antara rotor dan stator yang berbeda, terdapat 6 variasi perbedaan celah udara yaitu 2 mm, 3 mm, 4 mm, 5 mm, 6 mm dan 7 mm, setiap perbedaan celah udara hubungan rangkaian stator secara seri. Hasil pengujian dengan celah udara 2 mm tegangan yang dihasilkan 59 Volt AC, celah udara 3 mm menghasilkan tegangan 53,7 Volt AC, celah udara 4 mm menghasilkan tegangan 49,6 Volt AC, celah udara 5 mm menghasilkan tegangan 48,5 Volt AC, celah udara 6 mm menghasilkan tegangan 44,8 Volt AC dan celah udara 7 mm menghasilkan 41,6 Volt AC dari hasil pengujian tersebut dapat disimpulkan bahwa jarak celah udara berbanding terbalik dengan tegangan keluaran, semakin besar nilai celah udara yang diberikan, maka semakin kecil tegangan keluaran generator yang dihasilkan.

Kata Kunci: generator magnet permanen, fluks aksial, *multistage*, celah udara.

**PENDAHULUAN**

Saat ini pertumbuhan penduduk sangat pesat di dan disertai pertumbuhan perumahan membuat penyedia listrik harus menambah kapasitas daya dari yang ada saat ini, maka dari itu muncul inovasi generator atau pembangkit skala *micro* yang di anggap membantu dalam suatu kаланagan [1]. Generator sebagai penggerak pertama masih sangat sedikit dalam pemanfaatannya. Terutama di daerah Indonesia yang banyak sumber energi terbarukan yaitu energi air yang kurang dimanfaatkan secara maksimal, Pembangkit listrik mikrohidro adalah jenis pembangkit listrik terbarukan yang ramah lingkungan, mudah dioperasikan dan biaya operasi rendah. Sungai di Manokwari, Indonesia. Hasil survei awal menunjukkan bahwa sungai memiliki potensi hidrolik sekitar 29.5 kW. Menurut hasilnya, pembangkit listrik tenaga mikrohidro telah direncanakan di lokasi ini. Pembangkit listrik akan menggunakan potensi hidrolik 25,2 kW berdasarkan laju aliran 0,3 m<sup>3</sup> / s dan tinggi head 8,6 m [2].

Pemanfaatan generator yang berskala kecil dianggap sangat membantu bila di kembangkan

dengan baik karena mudah dalam perawatan serta pengontrolan yang mudah dan bahan mudah di dapatkan [3],[4],[5]. Generator yang ada pada pasaran saat ini adalah generator yang memiliki *Rpm* yang tinggi dan membutuhkan energi listrik awal untuk membuat medan megnetnya, model generator step-time harmonik diterapkan pada generator listrik rotor induksi dan mekanik untuk pengukuran kesalahan, dan mengusulkan ekspresi analitik bentuk tertutup sederhana untuk menggambarkan. Prediksi kemudian divalidasi dengan pengujian pada rig uji generator induksi 30 kW [6].

Generator yang dibuat untuk sekarang adalah murah dan mudah perawatannya. Generator tipe Fluks Aksial adalah yang ingin di kembangkan, generator sinkron magnet permanen fluks aksial fluks aksial (PMSG) dirancang sebagai stators ganda dan tiga rotor dan karakteristik elektromagnetik dan strukturalnya dianalisis. Perancangan bertujuan generator fluks aksial ditempatkan ke ujung tunggal dari rotor sisi dalam mesin dan magnet permanen ditempatkan ke ujung ganda rotor tengah. Satu rotor lebih dari jumlah

stator di sini digunakan [7],[8] . yaitu generator dengan Magnet Permanen Fluks Aksial 4 Stator 4 Rotor 1 Fasa, ini dapat membantu dalam pembangkitan energi karena di gerakan dengan satu poros serta mengeluarkan satu fasa di setiap satu sisi stator [9],[10].

Dalam penggunaan dapat di implementasikan pada turbin air pada aliran rendah dan *Rewnewable* energi yang saat ini sangat banyak variasi dalam pengembangan dan pembuatan macam- macam aplikasi [11]. Dengan bentuk yang seperti piringan memudahkan pembuatan dengan variasi magnet permanen dan jumlah lilitan semain banyak magnet dan jumlah lilitan maka tegangan akan semakin bagus [12],[13].

Jumlah stator dan rotor akan mempengaruhi dari hasil *output* generator yang di buat dan semakin banyak stator dan rotor yang ada hasil *output* juga semakin banyak serta satu Generator memiliki banyak *output* yang bisa di gunakan dalam implementasi [14].

Lebar celah udara generator sinkron fluks aksial rotor belitan (AFWR) perlu ditentukan dengan tepat sesuai dengan parameter desain. Salah satu kelebihan dari mesin fluks aksial (AF) adalah celah udaranya yang dapat diatur. Kinerja generator AF dapat diatur dengan mengatur celah udaranya [15].

Dalam penelitian ini menjelaskan kinerja generator magnet permanen fluks aksial *multistage* menggunakan 2 cakram stator dan 3 cakram rotor, dimana setiap cakram rotor terdapat 10 kutub magnet permanen jenis Neodymium serta setiap statornya terdapat 10 kumparan yang diuji dengan 6 perbedaan variasi celah udara (*air gap*) antara rotor dan stator.

## METODE DAN PERANCANGAN

### 2.1 Perencanaan Kecepatan Putar Generator

Kumparan stator (stator merupakan komponen alternator yang memiliki fungsi untuk menghasilkan arus bolak-balik (*Alternating Current/AC*). Kumparan stator ini terpasang secara *fixed* atau tetap pada inti stator dan terikat pada rumah sehingga tidak ikut berputar (statis).

Kumparan stator ini terdiri dari 10 gulungan kawat berisolasi yang dililitkan pada slot di sekeliling inti stator. Setiap gulungannya mempunyai jumlah lilitan yang sama. Hubungan antara kecepatan medan putar stator (rpm) dan frekuensi generator yang berbanding terbalik dengan jumlah kutub

berdasarkan putaran permenit hal ini dapat di tentukan dengan cara sebagai berikut :

$$n_g = \frac{120 \times f}{p} (rpm) \dots \dots \dots (1)$$

$n_g$  merupakan putaran generator (rpm),  $f$  frekuensi (Hz) dan  $p$  menyatakan jumlah kutub magnet dalam stator.

### 2.2 Rotor Magnet Permanen

Pada perancangan rotor ini menggunakan rotor dari bahan alumunium berlapis akrilik dengan diameter 30 cm<sup>2</sup>, rotor yang dirancang dapat terdapat 10 buah kutub dengan magnet, perancangan rotor generator fluks aksial ini menggunakan magnet *Neodymium* dengan menentukan besaran-besaran menggunakan persamaan sebagai berikut :

### 2.3 Densitas Fluks Maksimum

Nilai kerapatan fluks magnet maksimum adalah :

$$B_{max} = B_r \times \frac{L_m}{L_m + \delta} (T) \dots \dots \dots (2)$$

Dimana  $B_{max}$  menyatakan kerapatan fluks (T),  $B_r$  merupakan Residual Induction (T),  $L_m$  merupakan tinggi magnet (m) dan  $\delta$  jarak celah udara (m).

### 2.4 Luasan Medan Magnet

Perancangangan letak magnet permanen pada rotor generator sebagai berikut ini :

$$A_{magn} = \frac{\pi(ro^2 - ri^2) - \tau f(ro - ri)N_m}{N_m} (m^2) \dots \dots \dots (3)$$

$A_{magn}$  luasan magnet (m<sup>2</sup>),  $\pi$  merupakan phi (3.14 atau 22/7),  $ri$  menyatakan radius dalam magnet (m),  $ro$  merupakan radius luar magnet (m),  $\tau f$  merupakan jarak antar magnet (m) dan  $N_m$  merupakan jumlah magnet.

### 2.5 Fluks Maksimal

Untuk mencari fluks maksimal dari magnet permanen yang dihasilkan menggunakan persamaan berikut :

$$\Phi_{max} = A_{magn} \times B_{max} (Wb) \dots \dots \dots (4)$$

$\Phi_{max}$  merupakan fluks maksimal (Wb),  $A_{magn}$  merupakan luasan magnet (m<sup>2</sup>) dan  $B_{max}$  kerapatan fluks (T).

### 2.6 Jumlah Kumparan Stator

Sedangkan jumlah kumparan stator ( $N_s$ ) yang dibutuhkan untuk statornya menggunakan persamaan berikut :

$$N_s = p \times \frac{N_{ph}}{2} \dots\dots\dots (5)$$

$N_s$  merupakan jumlah kumparan stator,  $N_{ph}$  merupakan jumlah fasa dan  $p$  jumlah kutub magnet.

2.7 Jumlah Lilitan Stator

Kawat tembaga merupakan salah satu dari sekian banyak jenis penghantar listrik berdasarkan dari bahannya. Jenis kawat ini merupakan logam pertama kali yang digunakan sebagai kawat dan bahan kabel. Fungsi kawat tembaga yaitu sering digunakan untuk bahan lilitan pada generator listrik. Menentukan jumlah lilitan ( $N$ ) ini, merupakan salah satu hal yang terpenting dalam perancangan generator fluks aksial yang mana jumlah lilitan dipengaruhi beberapa parameter: jumlah kumparan, jumlah fasa, frekuensi dan fluks maksimum.

2.8 Tegangan Induksi

Sedangkan untuk tegangan dari induksi generator pada generator yang dibangkitkan dapat dihitung melalui persamaan berikut ini :

$$E_{rms} = 4.44 \times N \times f \times \Phi_{max} \times \frac{N_s}{N_{ph}} (Volt) \dots\dots\dots (6)$$

$E_{rms}$  merupakan tegangan dari induksi generator (Volt),  $N$  menyatakan jumlah lilitan,  $F$  merupakan frekuensi (Hertz),  $\Phi_{max}$  merupakan fluks maksimal (Wb),  $N_s$  merupakan jumlah kumparan stator dan  $N_{ph}$  merupakan jumlah fasa.

2.9 Daya Generator Satu Fasa

Sedangkan untuk daya dari generator yang dibangkitkan dapat dihitung melalui persamaan berikut.

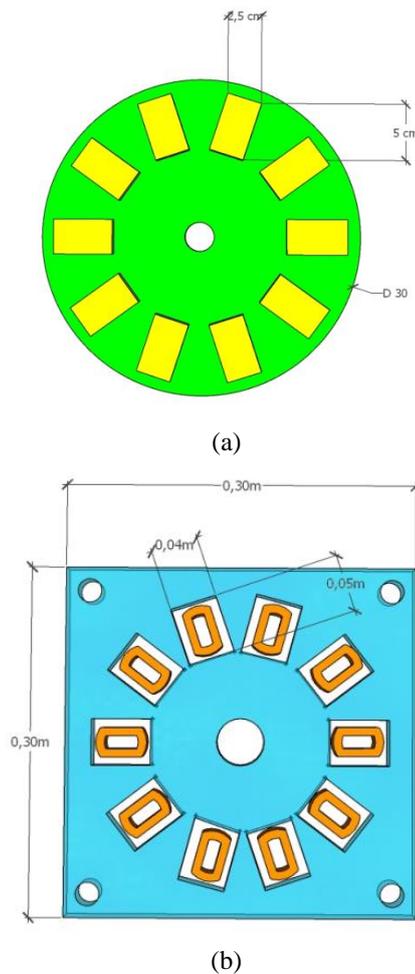
$$S_{1\phi} = V_{L-N} \times I (VA) \dots\dots\dots (7)$$

Pada persamaan diatas  $S_{1\phi}$  merupakan daya generator (VA),  $V_{L-N}$  merupakan tegangan generator (Volt) dan  $I$  menyatakan arus (Ampere).

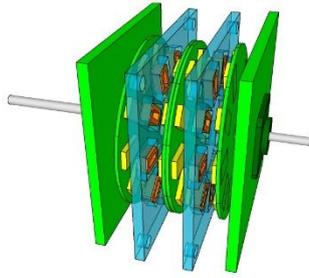
2.10 Hasil Perancangan

Dari persamaan diatas mendapatkan hasil perancangan generator ini dirancang untuk bekerja pada frekuensi 50 Hz dan berputar pada kecepatan 600 rpm. Tegangan keluaran dirancang 49,1 Volt

pada kondisi tanpa beban. Dengan menggunakan rotor dari bahan akrilik berlapis aluminium dengan diameter 30 cm<sup>2</sup>, rotor yang dirancang terdapat 10 buah kutub magnet menggunakan magnet *Neodymium*, maka rotor tersebut dibentuk supaya dapat diletakkan magnet permanen sedemikian rupa, untuk menentukan jarak antar magnet dan keliling rotor rancangan, bertujuan untuk mengetahui jumlah magnet sesuai dengan kutubnya, jarak antara magnet dan jari-jari rotor serta keliling cakram rotor 80 cm diperlihatkan pada gambar Gambar 1 (a). Sedangkan jumlah lilitan kumparan pada stator 10 buah. Nilai ini didapatkan dari besarnya jumlah magnet pada rotor, agar keliling stator menyesuaikan keliling rotor. Pertimbangan lain adalah agar kumparan dapat sepenuhnya terlewati oleh fluks magnetic, jumlah kumparan stator ( $N_s$ ) yang dibutuhkan untuk statornya menggunakan  $N_{ph}$  dengan jumlah 2 (fasa dan netral) dan  $p$  menggunakan 10 kutub, sedangkan geometri rotor magnet permanen dengan jumlah kumparan 10 buah yang setiap kumparan terdiri 142 lilitan diperlihatkan pada gambar Gambar 1 (b).



Gambar 1. (a). Geometri rotor generator magnet permanen fluks aksial, (b). Geometri stator generator tanpa inti besi.



Gambar 2. Rancangan generator magnet permanen fluks aksial *multistage*



Gambar 3. Hasil rakitan purwarupa generator magnet permanen fluks aksial *multistage*

## HASIL DAN ANALISA

Pengujian generator magnet permanen fluks aksial *multistage* tiga rotor dua stator dengan variasi celah udara untuk mengetahui perbandingan hasil dari perencanaan generator dengan pengukuran generator. Pengujian dan pengukuran generator dilakukan bertempat di Laboratorium Konversi Energi Elektrik ITN Malang. Generator ini diuji dengan variasi celah udara antara rotor dan stator yang berbeda, terdapat 6 variasi perbedaan celah udara yaitu 2 mm, 3 mm, 4 mm, 5 mm, 6 mm dan 7 mm, setiap perbedaan celah udara hubungan rangkaian stator secara seri.

### Pengujian dengan 6 Variasi Celah Udara

Tabel 1. Hasil Pengujian Generator dengan Celah Udara 7 mm

No	Rpm	Tegangan Keluaran Tanpa Beban		Tegangan Keluaran Dihubungkan Baterai			
		Vol t AC	Vol t DC	Vol t AC	Vol t DC	Aru s (A)	Volt Bater ai
1	50	3,3	3,2	3,3	3,2	0	11,8
2	100	7,9	7,2	7,9	7,2	0	11,8
3	150	9,4	8,5	9,4	8,5	0	11,8
4	200	14	13,5	10,8	12,4	0,08	11,9
5	250	18,4	16,4	11,5	12,5	0,12	12,3
6	300	23,1	20,7	12,2	12,6	0,19	12,4
7	350	24,9	22,9	12,6	12,8	0,24	12,6
8	400	30,2	27,5	13,5	13,2	0,33	12,9
9	450	32,7	29,8	13,9	13,3	0,39	13
10	500	36,5	33,4	14,5	13,6	0,48	13,2
11	550	39,4	36,1	15,1	13,8	0,54	13,5
12	600	44,8	41	15,8	14	0,66	13,6

1	50	2,8	2,7	2,8	2,7	0	11,7
2	100	7	6,9	7	6,9	0	11,7
3	150	10	9	10	9	0	11,7
4	200	13	12	10,7	12,3	0,05	11,8
5	250	16,7	15	11,4	12,5	0,10	11,9
6	300	20,4	18,4	12,2	12,6	0,17	11,9
7	350	23,5	21,2	12,8	12,8	0,23	12,1
8	400	27,2	24,9	13,5	13	0,32	12,3
9	450	30,5	27,5	14,0	13,2	0,38	12,3
10	500	34	31,2	14,6	13,4	0,46	12,4
11	550	37,5	34,4	15,1	13,6	0,54	13,2
12	600	41,6	38,0	15,7	13,8	0,65	13,3

Data yang diperoleh dari hasil pengukuran, diketahui kecepatan putar adalah mulai 50 - 600 rpm, dengan ini diperoleh tegangan paling tinggi pada rpm 600 dan celah udara 7 mm adalah 41,6 Volt AC dan frekuensi kerja generator pada 50 Hz.

Pada varia celah udara 7 mm generator dapat mengisi baterai pada putaran minimal 350 rpm dengan menghasilkan tegangan 12,8 Volt DC dengan Arus yang mengalir 0,23 Ampere.

Tabel 2. Hasil Pengujian Generator dengan Celah Udara 6 mm

No	Rpm	Tegangan Keluaran Tanpa Beban		Tegangan Keluaran Dihubungkan Baterai			
		Vol t AC	Vol t DC	Vol t AC	Vol t DC	Aru s (A)	Volt Bater ai
1	50	3,3	3,2	3,3	3,2	0	11,8
2	100	7,9	7,2	7,9	7,2	0	11,8
3	150	9,4	8,5	9,4	8,5	0	11,8
4	200	14	13,5	10,8	12,4	0,08	11,9
5	250	18,4	16,4	11,5	12,5	0,12	12,3
6	300	23,1	20,7	12,2	12,6	0,19	12,4
7	350	24,9	22,9	12,6	12,8	0,24	12,6
8	400	30,2	27,5	13,5	13,2	0,33	12,9
9	450	32,7	29,8	13,9	13,3	0,39	13
10	500	36,5	33,4	14,5	13,6	0,48	13,2
11	550	39,4	36,1	15,1	13,8	0,54	13,5
12	600	44,8	41	15,8	14	0,66	13,6

Data yang diperoleh dari hasil pengukuran, diketahui kecepatan putar adalah mulai 50 - 600 rpm, dengan ini diperoleh tegangan paling tinggi

pada rpm 600 dan celah udara 6 mm adalah 44,8 Volt AC dan frekuensi kerja generator pada 50 Hz.

Pada varia celah udara 6 mm generator dapat mengisi baterai pada putaran minimal 350 rpm dengan menghasilkan tegangan 12,8 Volt DC dengan Arus yang mengalir 0,24 Ampere.

Tabel 3. Hasil Pengujian Generator dengan Celah Udara 5 mm

No	Rpm	Tegangan Keluaran Tanpa Beban		Tegangan Keluaran Dihubungkan Baterai			
		Volt AC	Volt DC	Volt AC	Volt DC	Arus (A)	Volt Baterai
1	50	4,2	3,9	4,2	3,9	0	12,1
2	100	8,2	7,3	8,2	7,3	0	12,1
3	150	12	10,7	9,6	12,2	0,03	12,2
4	200	16,1	14,4	10,3	12,3	0,08	12,3
5	250	20,3	18,3	11	12,4	0,13	12,4
6	300	24,3	21,9	11,8	12,7	0,20	12,7
7	350	28,2	25,5	12,3	12,9	0,26	12,9
8	400	32,3	29,3	13	13	0,35	13,2
9	450	37,1	34,6	13,7	13,5	0,43	13,5
10	500	40,2	36,5	14,2	13,8	0,49	13,8
11	550	44,1	40,6	14,7	14,1	0,54	14,1
12	600	48,5	44,4	15,4	14,3	0,65	14,3

Data yang diperoleh dari hasil pengukuran, diketahui kecepatan putar adalah mulai 50 - 600 rpm, dengan ini diperoleh tegangan paling tinggi pada rpm 600 dan celah udara 5 mm adalah 48,5 Volt AC dan frekuensi kerja generator pada 50 Hz.

Pada varia celah udara 5 mm generator dapat mengisi baterai pada putaran minimal 350 rpm dengan menghasilkan tegangan 12,9 Volt DC dengan Arus yang mengalir 0,26 Ampere.

Tabel 4. Hasil Pengujian Generator dengan Celah Udara 4 mm

No	Rpm	Tegangan Keluaran Tanpa Beban		Tegangan Keluaran Dihubungkan Baterai			
		Volt AC	Volt DC	Volt AC	Volt DC	Arus (A)	Volt Baterai
1	50	4,3	4,0	4,3	4,0	0	12,2
2	100	8,5	7,5	8,5	7,5	0	12,2
3	150	12,2	10,8	9,5	12,3	0,02	12,2
4	200	15,9	15,2	10,3	12,4	0,08	12,3
5	250	21,4	19,3	11,2	12,6	0,15	12,4

6	300	24,7	22,8	11,6	12,8	0,20	12,6
7	350	28,8	26,6	12,2	13	0,26	12,8
8	400	34,8	32,4	13,1	13,4	0,37	13,1
9	450	37,9	34,4	13,8	13,8	0,42	13,5
10	500	42,5	38,5	14,1	13,9	0,50	13,6
11	550	45,8	41,8	14,6	14,1	0,56	13,9
12	600	49,6	45,2	15,3	14,4	0,65	14,1

Data yang diperoleh dari hasil pengukuran, diketahui kecepatan putar adalah mulai 50 - 600 rpm, dengan ini diperoleh tegangan paling tinggi pada rpm 600 dan celah udara 4 mm adalah 49,6 Volt AC dan frekuensi kerja generator pada 50 Hz.

Pada varia celah udara 4 mm generator dapat mengisi baterai pada putaran minimal 300 rpm dengan menghasilkan tegangan 12,8 Volt DC dengan Arus yang mengalir 0,20 Ampere.

Tabel 5. Hasil Pengujian Generator dengan Celah Udara 3 mm

No	Rpm	Tegangan Keluaran Tanpa Beban		Tegangan Keluaran Dihubungkan Baterai			
		Volt AC	Volt DC	Volt AC	Volt DC	Arus (A)	Volt Baterai
1	50	4,6	4,2	4,6	4,2	0	12,1
2	100	9,3	8,1	9,3	8,1	0	12,1
3	150	12,9	11,1	9,4	12,1	0,04	12,1
4	200	18,8	16,6	10,4	12,2	0,11	12,2
5	250	22,4	19,6	10,8	12,3	0,16	12,3
6	300	26	22,9	11,4	12,6	0,22	12,6
7	350	31,2	27	12,3	12,9	0,32	12,9
8	400	35,9	31,9	13	13,3	0,43	13,3
9	450	39,9	35,4	13,3	13,4	0,44	13,4
10	500	45,1	40	14,1	13,8	0,56	13,8
11	550	48,6	43,2	14,6	14,2	0,61	14,2
12	600	53,7	47,7	15,2	14,5	0,70	14,5

Data yang diperoleh dari hasil pengukuran, diketahui kecepatan putar adalah mulai 50 - 600 rpm, dengan ini diperoleh tegangan paling tinggi pada rpm 600 dan celah udara 3 mm adalah 53,7 Volt AC dan frekuensi kerja generator pada 50 Hz.

Pada varia celah udara 3 mm generator dapat mengisi baterai pada putaran minimal 300

rpm dengan menghasilkan tegangan 12,6 Volt DC dengan Arus yang mengalir 0,22 Ampere.

Tabel 6. Hasil Pengujian Generator dengan Celah Udara 2 mm

No	Rpm	Tegangan Keluaran Tanpa Beban		Tegangan Keluaran Dihubungkan Baterai			
		Volt AC	Volt DC	Volt AC	Volt DC	Arus (A)	Volt Baterai
1	50	5	4,6	5	4,6	0	0
2	100	11,2	9,8	8,7	12,2	0,01	12,3
3	150	14,2	12,4	9,2	12,3	0,04	12,3
4	200	19,4	17	10,5	12,4	0,12	12,4
5	250	23,5	20,7	10,9	12,5	0,17	12,5
6	300	29,3	25,7	11,6	13	0,23	13
7	350	34,1	30,1	12,4	13,4	0,32	13,3
8	400	38,4	34	12,5	13,5	0,36	13,4
9	450	44,4	39,3	13,0	13,7	0,45	13,6
10	500	48,8	43,3	13,6	14	0,53	13,9
11	550	53,5	47,6	14,1	14,2	0,61	14,1
12	600	59	52,5	14,8	14,8	0,68	14,8

Data yang diperoleh dari hasil pengukuran, diketahui kecepatan putar adalah mulai 50 - 600 rpm, dengan ini diperoleh tegangan paling tinggi pada rpm 600 dan celah udara 2 mm adalah 59 Volt AC dan frekuensi kerja generator pada 50 Hz.

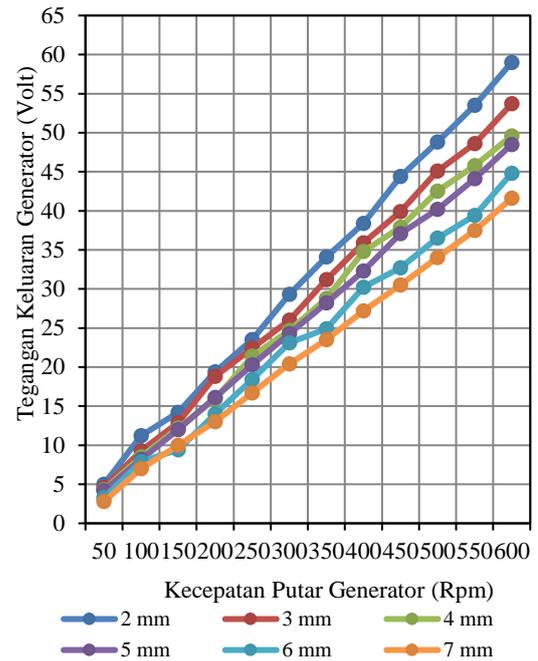
Pada varia celah udara 2 mm generator dapat mengisi baterai pada putaran minimal 300 rpm dengan menghasilkan tegangan 13 Volt DC dengan Arus yang mengalir 0,23 Ampere

#### Analisa Perbedaan Tegangan Terhadap Varisi Celah Udara

Tabel 7. Hasil Tegangan Keluaran Tertinggi pada Setiap Celah Udara yang Berbeda

Perbedaan Tegangan Tertinggi Antar Celah Udara				
No	Jarak Celah Udara	Rpm	Volt AC	Volt DC
1	2 mm	600	59	52,5
2	3 mm	600	53,7	47,7
3	4 mm	600	49,6	45,2
4	5 mm	600	48,5	44,4
5	6 mm	600	44,8	41

6	7 mm	600	41,6	38,0
---	------	-----	------	------

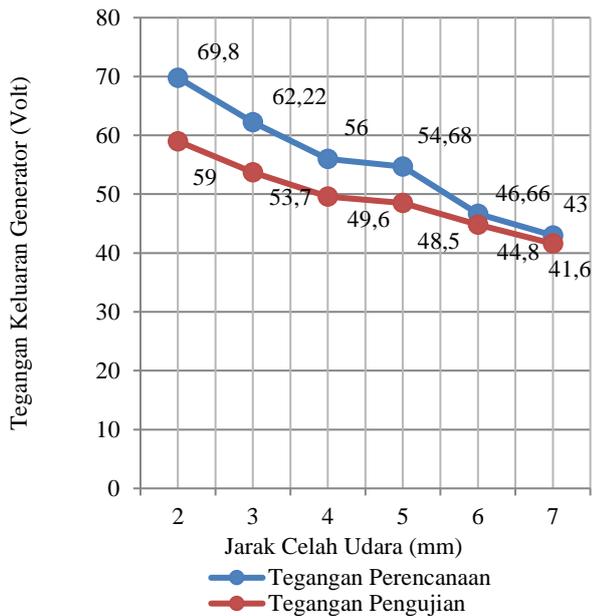


Gambar 4. Tegangan Keluaran Generator dengan Variasi Jarak Celah Udara

#### Perbandingan Tegangan Perencanaan dan Hasil Pengujian

Tabel 8. Hasil Perbedaan Antara Tegangan Perencanaan dan Hasil Pengujian

No	Jarak Celah udara	Rpm	Tegangan Perencanaan	Tegangan Pengujian
1	2 mm	600	69,8	59
2	3 mm	600	62,22	53,7
3	4 mm	600	56	49,6
4	5 mm	600	54,68	48,5
5	6 mm	600	46,66	44,8
6	7 mm	600	43	41,6



Gambar 5. Grafik tegangan keluaran generator hasil perhitungan perencanaan dan pengujian

Terdapat perbedaan tegangan antara perencanaan dan hasil pengujian, tegangan

perencanaan lebih tinggi dari tegangan hasil pengujian dikarenakan rugi – rugi, kualitas bahan dan kurang presisi dalam pembuatan.

## KESIMPULAN

Pengujian generator magnet permanen fluks aksial *multistage* menggunakan 2 cakram stator dan 3 cakram rotor dengan variasi celah udara antara rotor dan stator yang berbeda, terdapat 6 variasi perbedaan celah udara yaitu 2 mm, 3 mm, 4 mm, 5 mm, 6 mm dan 7 mm, setiap perbedaan celah udara hubungan rangkaian stator secara seri.

Hasil pengujian dengan celah udara 2 mm tegangan yang dihasilkan 59 Volt AC, celah udara 3 mm menghasilkan tegangan 53,7 Volt AC, celah udara 4 mm menghasilkan tegangan 49,6 Volt AC, celah udara 5 mm menghasilkan tegangan 48,5 volt AC, celah udara 6 mm menghasilkan tegangan 44,8 Volt AC dan celah udara 7 mm menghasilkan 41,6 Volt AC dari hasil pengujian tersebut dapat disimpulkan bahwa jarak celah udara berbanding terbalik dengan tegangan keluaran, semakin besar nilai celah udara yang diberikan, maka semakin kecil tegangan keluaran gnerator yang dihasilkan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. A. Nasir, "Design considerations of micro-hydro-electric power plant," Energy Procedia, vol. 50, pp. 19–29, 2014.
- [2] Y. R. Pasalli and A. B. Rehiara, "Design Planning of Micro-hydro Power Plant in Hink River," Procedia Environ. Sci., vol. 20, pp. 55–63, 2014.
- [3] V. Goudar, Z. Ren, P. Brochu, M. Potkonjak, and Q. Pei, "Optimizing the output of a human-powered energy harvesting system with miniaturization and integrated control," IEEE Sens. J., vol. 14, no. 7, pp. 2084–2091, 2014.
- [4] A. Khaledian and M. Aliakbar Golkar, "Analysis of droop control method in an autonomous microgrid," J. Appl. Res. Technol., vol. 15, no. 4, pp. 371–377, 2017.
- [5] P. A. Michael and C. P. Jawahar, "Design of 15 kW Micro Hydro Power Plant for Rural Electrification at Valara," Energy Procedia, vol. 117, pp. 163–171, 2017.
- [6] D. Zappalá, N. Sarma, S. Djurović, C. J. Crabtree, A. Mohammad, and P. J. Tavner, "Electrical & mechanical diagnostic indicators of wind turbine induction generator rotor faults," Renew. Energy, vol. 131, pp. 14–24, 2019.
- [7] E. Cetin and F. Daldaban, "Analyzing distinctive rotor poles of the axial flux PM motors by using 3D-FEA in view of the magnetic equivalent circuit," Eng. Sci. Technol. an Int. J., vol. 20, no. 5, pp. 1421–1429, 2017.
- [8] M. R. Minaz and M. Çelebi, "Design and analysis of a new axial flux coreless PMSG with three rotors and double stators," Results Phys., vol. 7, pp. 183–188, 2017.
- [9] S. A. Shufat, E. Kurt, C. Cinar, F. Aksoy, A. Hançerlioğulları, and H. Solmaz, "Exploration of a Stirling engine and generator combination for air and helium media," Appl. Therm. Eng., vol. 150, no. January, pp. 738–749, 2019.
- [10] D. P. Arnold, "Review of microscale magnetic power generation," IEEE Trans. Magn., vol. 43, no. 11, pp. 3940–3951, 2007.
- [11] H. Jaber, M. Khaled, T. Lemenand, and M. Ramadan, "Effect of generator load on hybrid heat recovery system," Case Stud. Therm. Eng., vol. 13, no. November 2018, p. 100359, 2019.
- [12] M. Niroomand and H. R. Foroughi, "A rotary electromagnetic microgenerator for energy harvesting from human motions," J. Appl. Res. Technol., vol. 14, no. 4, pp. 259–267, 2016.
- [13] A. N. Singh, W. Doorsamy, and W. Cronje, "Thermographical analysis of turbo-generator rotor," Electr. Power Syst. Res., vol. 163, no. June, pp. 252–260, 2018.
- [14] E. B. Kengne Signe, O. Hamandjoda, and J. Nganhou, "Methodology of Feasibility

*Studies of Micro-Hydro power plants in Cameroon: Case of the Micro-hydro of KEMKEN,*” Energy Procedia, vol, 2017.. 119, pp. 17–28

[15] Abdul Multi, Iwa Garniwa, and Uno Bintang Sudiby, ”*Determining the Air Gap Length. of an Axial Flux Wound Rotor Synchronous Generator*”, Makara Seri Teknologi, 2013, 17(2): 87-9

## PENGARUH PENCAMPURAN BODIESEL MINYAK NYAMPLUNG DAN MINYAK KELAPA DENGAN BIOSOLAR TERHADAP DISTRIBUSI TEMPERATUR NYALA API

Tri Vicca Kusumadewi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37, Jember, 68121

Email: \*triviccakd@unej.ac.id

### ABSTRAK

Dalam pemenuhan kebutuhan energi, masyarakat masih bergantung pada energi fosil seperti minyak bumi dan gas alam. Untuk memenuhi kebutuhan, energi yang dipakai di Indonesia hampir 95% menggunakan bahan bakar fosil. Penggunaan bahan bakar fosil yang semakin meningkat membuat pemerintah Indonesia merencanakan pengembangan pemanfaatan renewable energy. Berdasarkan data energy outlook pemerintah Indonesia, persediaan energi primer dengan menggunakan renewable energy akan meningkat dari 4,3% menjadi 17% di tahun 2025 terutama untuk geothermal dan biofuels. Biofuels merupakan bahan bakar yang dihasilkan dari bahan organik. Minyak nyamplung dan minyak kelapa merupakan contoh pengembangan biofuels yang salah satunya digunakan sebagai bahan pembuatan biodiesel. Sebagai bahan bakar, biodiesel harus memenuhi standar nasional Indonesia yang menunjukkan standar karakteristik biodiesel seperti jenis aliran nyala api, temperatur api, ketinggian kerucut api, dan warna api. Pengembangan karakteristik api dapat dilakukan dengan simulasi. Penelitian ini ditujukan untuk mengetahui distribusi temperatur nyala api biodiesel. Variasi pencampuran bahan bakar yang digunakan yaitu biosolar murni (B0), biosolar dengan 10% biodiesel (B10), biosolar dengan 30% biodiesel (B30) dan biodiesel murni (B100). Air fuel ratio (AFR) yang dipakai adalah 1. Hasil penelitian yang diperoleh adalah temperatur api tertinggi pada B0 di titik kedua (tengah) dengan nilai 720,5°C dengan tinggi kerucut api 2,61 cm dan temperatur api terendah pada biodiesel nyamplung B100 di titik ketiga dengan nilai 222,8°C.

Kata kunci: Energi, Biodiesel, Biosolar, Pembakaran, Karakterisasi Api.

### PENDAHULUAN

Konsumsi bahan bakar di Indonesia semakin meningkat dan bahan bakar fosil semakin lama semakin menipis. Untuk memenuhi *supply* bahan bakar maka Indonesia perlu meningkatkan potensi bahan bakar baru terbarukan salah satunya biodiesel. Pengembangan biodiesel di Indonesia sudah dilakukan salah satunya biodiesel dari jarak, nyamplung, kemiri, jelantah dan kelapa. Bahan-bahan tersebut dapat dijadikan biodiesel karena kandungan minyak nabati. Nyamplung merupakan biji tanaman yang bukan merupakan bahan pangan pokok sehingga untuk pengembangannya tidak memiliki masalah pemenuhan bahan pokok. Tanaman nyamplung menghasilkan biji mencapai 20 ton/ha/tahun [1]. Kandungan minyak nabati biji nyamplung kering mencapai 40-75% [2]. Kelapa juga merupakan bahan dasar pembuatan biodiesel. Dalam biji kelapa terkandung 50% asam lemak dan 7% asam kapriat, kedua lemak tersebut dapat diubah menjadi energi yang sangat menguntungkan [3]. Pembuatan biodiesel dari

bahan alam atau minyak nabati memiliki sifat pembakaran yang lebih baik dan ramah lingkungan. Selain itu lahan perkebunan di Indonesia yang luas menjadi poin positif untuk pengembangan biodiesel.

Untuk menjadi suatu bahan bakar, biodiesel harus memiliki standar karakteristik yang sesuai dengan standar nasional Indonesia seperti nyala api, titik nyala, massa jenis, viskositas dan lainnya. Selain pengujian standar karakteristik propertis biodiesel harus melalui proses uji karakteristik pembakaran untuk mengetahui karakteristik api pada biodiesel yaitu jenis aliran nyala api, temperatur api, ketinggian kerucut api dan warna api. Jenis aliran nyala api ada aliran laminar dan turbulen yang dibedakan oleh bentuk *streamline* aliran dengan gerakan yang teratur atau acak. Ketinggian kerucut api menunjukkan struktur api dimana ketinggian ini bergantung pada aliran nyala api, rasio bahan bakar dan udara, suhu dan zona pembakaran [4]. Warna api dapat dipengaruhi oleh kandungan bahan bakar dan campuran udara

yang ikut terbakar. Warna nyala api yang cenderung merah disebabkan oleh sedikitnya kadar oksigen dalam proses pembakaran sehingga menurunkan nilai kalor, sedangkan warna nyala api cenderung biru disebabkan oleh banyaknya adar oksigen dalam proses pembakaran [5]

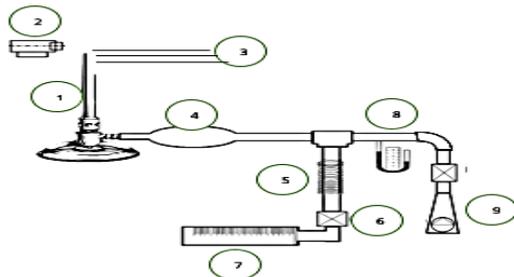
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh pencampuran biodiesel dengan biosolar terhadap distribusi temperatur nyala api pada proses pembakaran bahan bakar.

### METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini meliputi dua kegiatan utama yaitu pembuatan dan pengujian. Pada proses pembuatan biodiesel minyak nyamplung dan kelapa, biji nyamplung dan kelapa yang sudah di iris dikeringkan. Setelah itu dilakukan penyulingan minyak dengan menggunakan mesin *press*. Setelah itu minyak mentah biji nyamplung dan kelapa direaksikan dengan KOH sebagai katalis untuk menjadi biodiesel pada suhu 65°C.

Setelah itu dilakukan pengujian karakteristik biodiesel seperti massa jenis, viskositas, dan titik nyala api.

Instalasi peralatan akan disusun sebagai berikut:



Gambar 1. Instalasi Pembakaran Biodiesel

Keterangan:

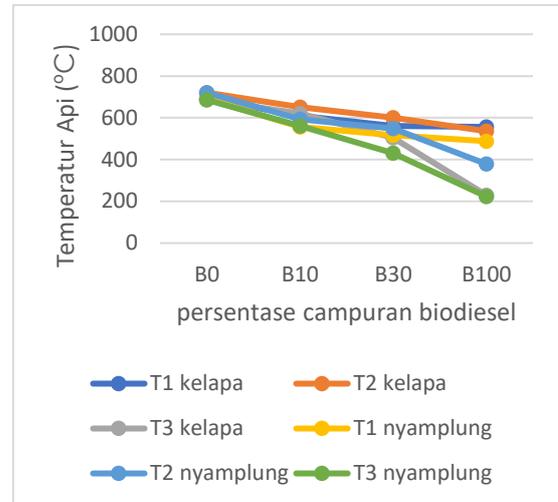
1. Bunsen burner
2. Camera
3. *Thermocouple*
4. *Mixing chamber*
5. Heater
6. Valve
7. Buret
8. Kompresor
9. Flowmeter

Pengujian dilakukan untuk mengetahui Temperatur api pada 3 titik dengan menggunakan thermocouple tipe K.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian karakteristik api pada campuran biodiesel minyak nyamplung, minyak kelapa dengan biosolar dilakukan pengambilan data temperatur api dengan tujuan untuk mengetahui perbandingan temperatur yang

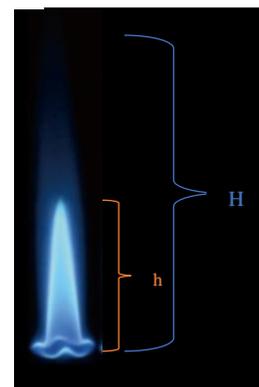
dihasilkan dari masing – masing komposisi campuran bahan bakar dengan ekivalen rasio ( $\phi$ ) 1 yang dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh pencampuran biodiesel terhadap temperatur

Temperatur api tertinggi terdapat pada biosolar 100% (B0) pada titik kedua (tengah) dengan nilai 720,5°C dan terendah pada biodiesel nyamplung B100 pada titik ketiga dengan nilai 222,8°C. Untuk trendline temperatur api terhadap persentase pencampuran biodiesel dapat dilihat bahwa semakin banyak campuran biodiesel maka nilai temperatur akan semakin menurun.

Selain mengetahui nilai temperatur api, tinggi kerucut api juga akan diketahui. Tinggi kerucut api dibagi menjadi dua bagian yaitu tinggi kerucut api luar dan dalam yang dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 3. Contoh tinggi kerucut api pada B0

Data tinggi kerucut api pada minyak kelapa dapat dilihat pada tabel 1 berikut ini.

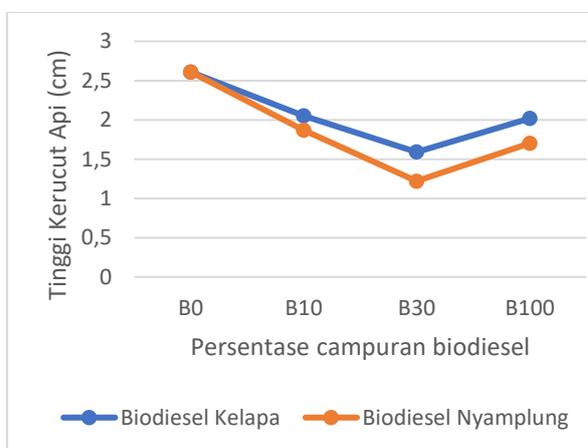
Tabel 1. Data tinggi kerucut api pada minyak kelapa

Bahan bakar	Pengujian 1		Pengujian 2		Pengujian 3		Rata - rata	
	h (cm)	H (cm)						
B0	2.58	5.61	2.56	5.66	2.68	5.78	2.61	5.69
B10	2.00	5.54	2.02	4.81	2.10	5.16	2.05	5.12
B30	1.62	4.95	1.53	5.01	1.65	5.07	1.59	5.02
B100	1.96	5.46	2.08	5.59	2.02	5.57	2.02	5.53

Data tinggi kerucut api pada minyak nyamplung dapat dilihat pada tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Data Tinggi Kerucut Api pada Minyak Nyamplung

Bahan bakar	Pengujian 1		Pengujian 2		Pengujian 3		Rata - rata	
	h (cm)	H (cm)						
B0	2.58	5.61	2.56	5.66	2.68	5.78	2.61	5.65
B10	1.84	3.53	1.92	3.72	1.84	3.79	1.87	3.68
B30	1.20	3.56	1.36	4.03	1.08	3.43	1.22	3.67
B100	1.73	6.01	1.76	5.56	1.60	5.96	1.70	5.85



Gambar 3. Contoh tinggi kerucut api pada B0

Dari trendline di atas dapat dilihat bahwa tinggi kerucut api tertinggi adalah pada B0 yaitu 2,61 cm. Tinggi kerucut api yang paling rendah adalah pada biodiesel nyamplung B30 yaitu 1,22 cm. Peningkatan kerucut api pada B100 pada kedua biodiesel tersebut disebabkan oleh kurang optimalnya proses pembakaran karena tingginya massa jenis bahan bakar sehingga hasil pembakaran cenderung membentuk api difusi yang memiliki warna kemerahan. Penurunan tinggi kerucut api dalam (h) pada komposisi B10 dan B30 disebabkan oleh karakteristik massa jenis biodiesel

yang lebih tinggi dari pada biosolar. Hal tersebut mengakibatkan proses pembakaran tidak optimal dikarenakan massa jenis yang tinggi dapat mengakibatkan bahan bakar semakin sulit untuk di uapkan dan dibakar sehingga energi yang dihasilkan pada pembakaran akan menurun.

### KESIMPULAN

Dari hasil penelitian pengembangan pencampuran biodiesel terhadap distribusi nyala api dapat diambil kesimpulan bahwa temperatur api akan semakin menurun seiring bertambahnya persentase biodiesel yang ditambahkan. Pada distribusi temperatur didapatkan bahwa temperatur api pada tengah nyala api lebih tinggi dibandingkan pada bagian pangkal dan ujung nyala api. Tinggi kerucut api juga dipengaruhi oleh massa jenis sehingga semakin tinggi persentase biodiesel maka semakin rendah tinggi kerucut api namun pada B100 tinggi kerucut naik kembali karena pembakaran akan membentuk api difusi.

### SARAN

Saran yang dapat diajukan agar percobaan berikutnya dapat lebih baik dan dapat menyempurnakan percobaan yang telah dilakukan dalam penelitian ini, yaitu: perlu adanya pengembangan penelitian khususnya uji emisi pada gas sisa pembakaran.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Krisnawati H., K. Maarit, dan K. Markku, "*Aleurites Moluccana (L): Ekologi, Silviculture dan Produktivitas*," Bogor: CIFOR, 2011.
- [2] Turns, S. R, "*An Introduction to Combustion Concepts and Application*," Singapore: McGraw – Hill Inc, 1996.
- [3] Defmit, B., N. Riwu, "*Pengaruh penambahan LPG (liquified petroleum gas) pada proses pembakaran premixed uap minyak jarak pagar terhadap warna dan temperatur api*" *Jurnal Lontar*, 2016, pp. 3: 55 – 60.
- [4] Hu, S., J. Gao, C. Gong, Y. Zhou, dan X. S. Bai, "*Assessment of uncertainties of the laminar flame speed of premixed flames as determined using a bunsen burner at varying pressures*," *Journal Applied Energy*, 2017, pp. 9: 100-110.
- [5] Agarwal, A. K, "*Biofuels applications as fuels for internal combustion engines, progress in energy and combustion science*", *Journal Energy and Fuels*, 2006, pp. 8: 1-38.