



**SKRIPSI – ME184834**

**ANALISA PENGARUH PENGGUNAAN BAHAN BAKAR MOTOR  
DIESEL HASIL DAUR ULANG MINYAK PELUMAS BEKAS TERHADAP  
PERFORMA MESIN DAN HASIL EMISI NO<sub>x</sub>**

**NUR IRWAN SETIAWAN  
NRP 04211540000065**

**Dosen Pembimbing :  
Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng., Ph.D  
Dr. I Made Ariana, ST, M.T**

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019**





**SKRIPSI - ME184834**

**ANALISA PENGARUH PENGGUNAAN BAHAN BAKAR MOTOR DIESEL  
HASIL DAUR ULANG MINYAK PELUMAS BEKAS TERHADAP  
PERFORMA MESIN DAN HASIL EMISI NOX**

**Nur Irwan Setiawan**

**NRP 04211540000065**

**Dosen Pembimbing**

**Ir. Agung Zuhdi Muhammad Fathallah., M.Eng., Ph.D**

**Dr. I Made Ariana, ST, M.T**

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN**

**FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN**

**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**SURABAYA**

**2019**

*“Halaman Sengaja Dikosongkan”*



**BACHELOR THESIS – ME184834**

**IMPACT ANALYSIS ON THE USE OF RECYCLED USED LUBRICATING OIL AS DIESEL ENGINE FUEL ON ITS ENGINE PERFORMANCE AND NOX EMISSION RESULT**

**Nur Irwan Setiawan**

**NRP 04211540000065**

**SUPERVISOR**

**Ir. Agung Zuhdi M.Fathallah., M.Eng., Ph.D**

**Dr. I Made Ariana, ST, M.T**

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN**

**FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN**

**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**SURABAYA**

**2019**

*“Halaman Sengaja Dikosongkan”*

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISA PENGARUH PENGGUNAAN BAHAN BAKAR MOTOR DIESEL HASIL DAUR ULANG MINYAK PELUMAS BEKAS TERHADAP PERFORMA MESIN DAN HASIL EMISI NO<sub>x</sub>

#### Skripsi

Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan  
memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi *Marine Power Plant* (MPP) Program Studi S-1  
Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Oleh:

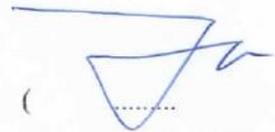
**Nur Irwan Setiawan**

**NRP. 04211540000065**

Disetujui oleh Dosen Pemimbing Skripsi :

Ir. Agung Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng, Ph.D

NIP : 1956 0519 1986 10 1001

(  )

Dr. I Made Ariana, ST, M.T

NIP : 197106101995121001

(  )

Surabaya

Juli 2019

*“Halaman Sengaja Dikosongkan”*

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISA PENGARUH PENGGUNAAN BAHAN BAKAR MOTOR DIESEL HASIL DAUR ULANG MINYAK PELUMAS BEKAS TERHADAP PERFORMA MESIN DAN HASIL EMISI NO<sub>x</sub>

#### Skripsi

Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan  
memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi *Marine Power Plant* (MPP) Program Studi S-1  
Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Oleh:

**Nur Irwan Setiawan**

**NRP. 0421154000065**

Disetujui oleh Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan :



**Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST. MT**

**NIP: 1977 0802 2008 01 1007**

*“Halaman Sengaja Dikosongkan”*

# **ANALISA PENGARUH PENGGUNAAN BAHAN BAKAR MOTOR DIESEL HASIL DAUR ULANG MINYAK PELUMAS BEKAS TERHADAP PERFORMA MESIN DAN HASIL EMISI NO<sub>x</sub>**

**Nama Mahasiswa : Nur Irwan Setiawan**

**NRP : 04211540000065**

**Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan**

**Dosen Pembimbing : Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah., M.Eng, Ph.D  
Dr. I Made Ariana, ST, M.T**

## **ABSTRAK**

Konsumsi bahan bakar selalu mengalami peningkatan setiap tahunnya, yang diakibatkan oleh meningkatnya populasi dan aktivitas penduduk dunia. Pencarian energi alternatif juga gencar dilakukan guna menghemat pemakaian bahan bakar minyak. Disamping kebutuhan bahan bakar yang meningkat, limbah dari proses industri dan permesinan juga terus meningkat dan belum bisa ditangani dengan baik, seperti limbah dari minyak pelumas bekas. Dikarenakan minyak pelumas diperoleh dari olahan minyak bumi, maka minyak pelumas termasuk senyawa hidrokarbon yang memiliki nilai energi dan bisa terbakar. Maka perlu dicari cara untuk memanfaatkan minyak pelumas bekas utamanya sebagai bahan bakar. Pengolahan minyak pelumas bekas menjadi bahan bakar telah banyak dilakukan dengan berbagai metode. Namun, dari penelitian yang telah ada, banyak yang tidak diuji pengaruh penggunaannya terhadap mesin, baik secara performa maupun emisi yang dihasilkan. Maka dari itu, pada penelitian kali ini akan dibuat bahan bakar alternatif hasil olahan minyak pelumas bekas dengan metode distilasi. Bahan bakar ini selanjutnya akan dilakukan pengujian properties bahan bakar, serta pengujian pada mesin yang meliputi pengaruhnya terhadap performa dan emisi yang dihasilkan. Dari segi properties, bahan bakar DLF 20 ini memiliki nilai cetane dan nilai LHV yang lebih baik daripada bahan bakar B20 yang beredar di pasaran. Dari segi performa, meskipun bahan bakar DLF 20 memiliki nilai konsumsi bahan bakar yang lebih besar, serta nilai efisiensi thermal yang lebih jelek, tetapi power, torsi, dan BMEP yang dihasilkan lebih besar dari B20. Begitu pula dari segi emisi, pada kondisi putaran mesin 100% dan daya 100%, kandungan emisi NO<sub>x</sub> yang dihasilkan oleh bahan bakar DLF 20 memiliki nilai yang lebih kecil daripada bahan bakar B20 dengan selisih mencapai 0,25 g/kWh.

**Keywords : B20, DLF 20, Emisi NO<sub>x</sub> , Performa Motor , Properties Bahan Bakar,**

*“Halaman Sengaja Dikosongkan”*

# **IMPACT ANALYSIS ON THE USE OF RECYCLED USED LUBRICATING OIL AS DIESEL ENGINE FUEL ON ITS ENGINE PERFORMANCE AND NOX EMISSION RESULT**

**Student Name** : Nur Irwan Setiawan  
**NRP** : 0421154000065  
**Departement** : Marine Engineering  
**Academic Supervisor** : Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng, Ph.D  
Dr. I Made Ariana, ST, M.T

## **ABSTRACT**

The consumption of refined petroleum products constantly increases each year along with the increase and activities of the human population. The search for alternative energy is also intensively carried out to conserve the use of oil fuel. In addition to the increasing fuel demand with industrial progress and development, the waste of these industrial processes and machinery which unable to be handled properly also continue to increase, including waste from used lubricating oil. As lubricating oil is a product of petroleum, it is a hydrocarbon compound that has an energy value and is flammable, it is necessary to find a way to re-utilize waste lubricating oil as a fuel. The development of processing used oil into fuel has been carried out with various methods to obtain maximum results. However, in previous studies, many of the used refined fuels were not tested for their effects on the engine, both in terms of performance and emissions produced. Therefore, in this study, an alternative fuel will be made from used lubricating oil processed with the distillation method. Which will then be tested for fuel properties and testing on the engine and to find out its effects on the performance and emissions produced. In terms of properties, the DLF 20 fuel has better properties in cetane number and low heating value than the B20 fuel which already exist on the market. In terms of performance, even though the DLF 20 fuel has a bigger fuel consumption value, and lower thermal efficiency, the resulting power, torque and BMEP is larger than the B20. Similarly in terms of emissions, at 100% engine speed and 100% power, the NO<sub>x</sub> emissions produced by fuel DLF 20 has a smaller value than the one produced by B20 fuel with a difference of 0.25 g / kWh.

**Keywords** :B20, DLF 20, Engine Performance, Fuel Properties, NO<sub>x</sub> Emission

*“Halaman Sengaja Dikosongkan”*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah S.W.T berkat limpahan rahmat, hidayah dan bimbingan-Nya sehingga skripsi dengan judul **“ANALISA PENGARUH PENGGUNAAN BAHAN BAKAR MOTOR DIESEL HASIL DAUR ULANG MINYAK PELUMAS BEKAS TERHADAP PERFORMA MESIN DAN HASIL EMISI NOX ”** dapat diselesaikan dengan baik dan lancar. Sholawat serta salam atas junjungan nabi besar Muhammad SAW yang diharapkan syafaatnya hingga diakhir kiamat.

Penulis menyadari bahwa keberhasilan dalam penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan doa berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Bapak Ir. Agung Zuhdi Muhammad Fathallah., M.Eng, Ph.D dan Bapak Dr. I Made Ariana, ST, M.T selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, masukan, dan ilmu kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST. MT selaku Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
3. Bapak Prof. Dr. Ketut Buda Artana, ST., M.Sc. Selaku dosen wali yang telah banyak memberikan bimbingan dan pendidikan baik akademik maupun non akademik.
4. Bapak M. Nur Afandi selaku teknisi Laboratorium *Marine Power Plant* yang telah membantu penulis dalam persiapan pra eksperimen hingga eksperimen selesai.
5. Bapak Sutiyono dan Sri Untari Widiastutik, selaku orang tua dari penulis yang selalu memberikan doa, kasih sayang, motivasi serta nasehat kepada penulis.
6. Kawan seperjuangan dan seangkatan SALVAGE 15 yang selalu mendukung, mengingatkan dan memotivasi hingga penulis mampu menyelesaikan skripsi dengan baik dan lancar.
7. Ubur-Ubur yang selalu menemani selama pengerjaan laporan skripsi dan menjadi teman diskusi
8. Anggota laboratorium MPP yang selalu menemani selama penulisan laporan skripsi
9. Serta semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu perlunya saran dan masukan demi membangun kebaikan dan kemajuan skripsi ini. Akhir kata semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat bagi yang membutuhkannya, amin.

Surabaya, Juli 2019  
Penulis

*“Halaman Sengaja Dikosongkan”*

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
LEMBAR PENGESAHAN.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
ABSTRAK .....	ix
ABSTRACT .....	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR TABEL .....	xix
BAB I .....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
BAB II.....	3
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	3
2.1 Minyak Pelumas .....	5
2.2 Minyak Pelumas Bekas .....	6
2.3 Pemanfaatan dan Pengolahan Minyak Pelumas bekas .....	8
2.4 Performa Mesin .....	11
2.4.1 Torsi dan Daya .....	11
2.4.2 SFOC .....	12
2.5 Emisi NOx.....	13
2.5.1 Test Cycle and Weight Factor .....	13
2.5.2 IMO Emission Standard .....	14
BAB III.....	15
3.1 Identifikasi Masalah .....	16
3.2 Studi Literatur .....	16
3.3 Persiapan Alat dan Bahan.....	16
3.4 Pembuatan Bahan Bakar .....	18
3.4.1 Proses Distilasi .....	18
3.4.2 Proses Pengubahan Warna Bahan Bakar.....	20

3.4.3 Proses Pencampuran Bahan Bakar .....	21
3.5 Uji Karakteristik Bahan Bakar .....	21
3.5.1 <i>Cetane Number</i> .....	21
3.5.2 <i>Low Heating Value</i> .....	21
3.5.3 <i>Density</i> .....	22
3.5.4 <i>Viscosity</i> .....	22
3.5.5 <i>Flash Point</i> .....	22
3.5.6 <i>Pour Point</i> .....	22
3.6 Pengumpulan Data .....	22
3.7 Analisa Data & Pembahasan .....	22
3.8 Kesimpulan & Saran .....	23
3.9 Penyusunan Laporan .....	23
BAB IV .....	25
4.1 Properties Bahan Bakar campuran olahan minyak pelumas bekas dengan solar .....	25
4.2 Performa Motor Diesel Berbahan Bakar DLF 20 dan B 20 .....	28
4.2.1 Analisa Performa SFOC dengan Daya .....	29
4.2.2 Analisa Performa Daya dengan RPM Pada Kondisi <i>Full Load</i> .....	36
4.2.3 Analisa Performa Torsi dengan RPM Pada Kondisi <i>Full Load</i> .....	37
4.2.4 Analisa Performa BMEP dengan RPM Pada Kondisi <i>Full Load</i> .....	38
4.2.5 Analisa Performa <i>Thermal Efficiency</i> dengan Daya .....	39
4.2.6 Analisa Performa Suhu Gas Buang dengan Daya Pada Kondisi <i>Full Load</i> .....	41
4.3 Emisi Motor Diesel Berbahan Bakar DLF 20 dan B 20 .....	42
BAB V .....	45
5.1 Kesimpulan .....	45
5.2 Saran .....	45
Daftar Pustaka .....	47
Lampiran I .....	49
Lampiran II .....	53
Lampiran III .....	57
Biodata Penulis .....	67

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Geometri Dasar Piston Pada Internal Combustion Engine.....	11
Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian.....	15
Gambar 3.2 <i>Engine Set Up</i> .....	17
Gambar 3.3 Proses Pemanasan.....	18
Gambar 3.4 Kondensor.....	19
Gambar 3.5 <i>Base Oil</i> Hasil Distilasi .....	19
Gambar 3.6 <i>Base Oil</i> Pasca Proses Pengubahan Warna.....	20
Gambar 3.7 Bahan Bakar Campuran <i>Base Oil</i> Dengan HSD.....	21
Gambar 4.1 Grafik Perbandingan Power Terhadap SFOC Pada Bahan Bakar DLF 20.29	
Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Power Terhadap SFOC Pada Bahan Bakar B 20 .....	30
Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Power Terhadap SFOC Pada Bahan Bakar B 20 dan DLF 20, Pada RPM 1800 .....	31
Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Power Terhadap SFOC Pada Bahan Bakar B 20 dan DLF 20, Pada RPM 1900 .....	32
Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Power Terhadap SFOC Pada Bahan Bakar B 20 dan DLF 20, Pada RPM 2000 .....	33
Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Power Terhadap SFOC Pada Bahan Bakar B 20 dan DLF 20, Pada RPM 2100 .....	34
Gambar 4.7 Grafik perbandingan Power Terhadap SFOC Pada Bahan Bakar B 20 dan DLF 20, Pada RPM 2200 .....	35
Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Daya Terhadap RPM Pada Kondisi <i>Full Load</i> Dengan Variabel Bahan Bakar DLF 20 dan B 20 .....	36
Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Torsi Terhadap RPM Pada Kondisi <i>Full Load</i> Dengan Variabel Bahan Bakar DLF 20 dan B 20 .....	37
Gambar 4.10 Grafik Perbandingan BMEP Terhadap RPM Pada Kondisi <i>Full Load</i> Dengan Variabel Bahan Bakar DLF 20 dan B 20 .....	38
Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Thermal Efficiency terhadap power pada bahan bakar DLF 20 .....	39
Gambar 4.12 Perbandingan Thermal Efficiency terhadap power pada bahan bakar B20 .....	40
Gambar 4.13 Grafik Perbandingan Thermal Efficiency terhadap RPM pada kondisi <i>Full Load</i> dengan variasi bahan bakar DLF 20 dan B20 .....	41
Gambar 4.14 Grafik Perbandingan Suhu Gas Buang terhadap RPM pada kondisi <i>Full Load</i> dengan variasi bahan bakar DLF 20 dan B20 .....	41
Gambar 4.15 Analisa Perbandingan Emisi NOx Dari Bahan Bakar DLF20 dan B20 ...	43

*“Halaman Sengaja Dikosongkan”*

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Minyak Pelumas BELL1 DT-F .....	6
Tabel 2. 2 Jenis Kontaminan Pada Minyak Pelumas Bekas .....	8
Tabel 2.3 Perbandingan karakteristik Minyak Pelumas Bekas .....	8
Tabel 2.4 Tabel Pengetesan IMO .....	13
Tabel 2.5 Marpol Annex VI NOx Emission Limit .....	14
Tabel 3.1 <i>Engine Spesification</i> .....	18
Tabel 4.1 Properties <i>Base Oil</i> Hasil Distilasi .....	25
Tabel 4.2 Properties DLF 20 .....	26
Tabel 4.3 Properties Bahan Bakar B20* .....	26
Tabel 4.4 Perbandingan Properties B20 dan DLF 20 .....	27
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Emisi Dengan Gas Analyzer .....	42
Tabel 4.6 Nilai Emisis NOx (ppm) .....	43
Tabel 4.7 Hasil Konversi Emisi NOx (gr/kWh) .....	43

*“Halaman Sengaja Dikosongkan”*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Konsumsi terhadap bahan bakar selalu mengalami peningkatan setiap tahunnya, yang diakibatkan oleh meningkatnya populasi dan aktivitas penduduk dunia. Berbagai upaya dan penelitian telah banyak dilakukan untuk mengurangi tingginya angka ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Pencarian bahan bakar alternatif dari sumber yang melimpah dan terbarukan menjadi salah satu upaya dalam mengurangi angka ketergantungan ini. Disamping kebutuhan bahan bakar yang meningkat, limbah dari proses industri dan permesinan juga terus meningkat dan belum bisa ditangani dengan baik, seperti limbah dari minyak pelumas bekas. Dikarenakan minyak pelumas diperoleh dari olahan minyak bumi, maka minyak pelumas termasuk senyawa hidrokarbon yang memiliki nilai energi dan bisa terbakar. Maka perlu dicari cara untuk memanfaatkan minyak pelumas bekas utamanya sebagai bahan bakar. (Suparta, 2017)

Salah satu upaya untuk mengurangi pencemaran yang ditimbulkan oleh tingginya limbah minyak pelumas bekas adalah dengan dilakukannya daur ulang pada minyak pelumas bekas menjadi bahan bakar. Daur ulang minyak pelumas dilakukan dengan cara memurnikan kembali kandungan dasar minyak pelumas (*base oil*), sehingga dapat digunakan lagi sebagai bahan bakar motor diesel. Salah satu metode yang digunakan dalam mendaur ulang oli bekas yaitu dengan menggunakan proses distilasi. Proses distilasi dilakukan untuk menghilangkan air pada temperatur 100 °C. Sedangkan, kandungan *base oil* yang terdapat pada minyak pelumas bekas akan menguap pada suhu diatas 400 °C., Metode ini akan mencerahkan warna akibat hidrokarbon dan proses hidrogenasi untuk menghilangkan bau dari sulfur, nitrogen dan senyawa oksigen. Hasil yang diperoleh sekitar 80% dan minim polusi, namun metode ini membutuhkan temperatur tinggi serta waktu yang relatif lama (Hamawand, 2013)

Pengolahan minyak pelumas bekas menjadi bahan bakar telah banyak dilakukan dengan berbagai metode. Namun, dari penelitian yang telah ada, bahan bakar hasil olahan minyak pelumas bekas ini banyak yang tidak diuji pengaruh penggunaannya terhadap mesin, baik secara performa maupun emisi yang dihasilkan. Oleh karena itu, pada penelitian kali ini akan dilakukan penelitian untuk mengolah limbah minyak pelumas bekas menjadi bahan bakar motor diesel, yang selanjutnya akan dilakukan pengujian performa serta emisi yang dihasilkan pada mesin diesel Yanmar TF-85 MH. Hasil eksperimen penggunaan bahan bakar hasil daur ulang minyak pelumas bekas akan dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar solar yang ada di pasaran.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dengan latar belakang diatas maka permasalahan dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana properties bahan bakar yang dihasilkan dari campuran olahan minyak pelumas bekas dengan biosolar (B20)
2. Bagaimana pengaruh penggunaan bahan bakar hasil daur ulang minyak pelumas bekas terhadap performa mesin diesel
3. Bagaimana pengaruh penggunaan bahan bakar hasil daur ulang minyak pelumas bekas terhadap emisi NOx mesin diesel

## 1.3 Batasan Masalah

1. Minyak Pelumas bekas yang digunakan adalah BELL 1 DT-F SAE 40 CF2/SG, pemakaian 1 bulan, 8000-9000 Km
2. Pengujian performa dan emisi dilakukan pada mesin diesel Yanmar TF-85 MH
3. Ruang lingkup analisa proses performa mesin (*Engine Perform*) dengan mencari nilai daya, torsi, *Sfpecific Fuel Oil Consumption* (SFOC), *Brake Meam Effective Pressure* (BMEP), dan *Thermal Efficiency*.

## 1.4 Tujuan Penelitian

1. Menganalisa perbandingan properties bahan bakar yang dihasilkan dari campuran olahan minyak pelumas bekas dengan biosolar (B20)
2. Menganalisa dampak performa (*Performance*) yang dihasilkan mesin diesel saat menggunakan bahan bakar hasil daur ulang minyak pelumas bekas dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar biosolar
3. Menganalisa jumlah kandungan emisi NOx yang dihasilkan mesin diesel saat menggunakan bahan bakar hasil daur ulang minyak pelumas bekas dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar biosolar

## 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagi peneliti, dengan penelitian ini dapat mengetahui pengaruh penggunaan bahan bakar hasil daur ulang oli bekas terhadap performa serta emisi mesin diesel
2. Bagi para akademisi, dengan pemelitian ini diharapkan dapat memacu penelitian serupa di bidang yang sama
3. Diharapkan dapat menjadikan bahan bakar motor diesel dari daur ulang oli bekas sebagai energi alternatif

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Berbagai upaya dan penelitian telah dilakukan untuk mengurangi tingginya angka ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Pencarian bahan bakar alternatif dari sumber yang melimpah dan terbarukan agar dapat digunakan sebagai bahan bakar menjadi salah satu upaya dalam mengurangi angka ketergantungan ini. Salah satu sumber energi alternatif yang coba dibuat menjadi bahan bakar berasal dari daur ulang limbah. Limbah yang digunakan berasal dari berbagai sumber, seperti limbah ban bekas, minyak goreng bekas, serta minyak pelumas bekas. Proses daur ulang bahan bakar yang berasal dari limbah ban bekas bisa dilakukan dengan metode pirolisis yang dilanjutkan dengan proses distilasi. Dengan metode ini, didapatkan bahan bakar yang bisa langsung digunakan pada mesin diesel tanpa perlu dilakukannya modifikasi pada mesin. Dari segi performa mesin, dengan jumlah konsumsi bahan bakar yang hampir sama, bahan bakar hasil olahan ban bekas memiliki *brake thermal efficiency* yang lebih rendah daripada solar biasa (Islam and Nahian, 2016). Penelitian mengenai penggunaan bahan bakar diesel yang berasal dari minyak jelantah juga telah dilakukan. Pada proses produksinya, digunakan catalyst serta dilanjutkan dengan proses transesterifikasi. Catalyst yang umum digunakan pada pengolahan minyak jelantah adalah KOH dan NaOH. Sedangkan proses transesterifikasi dilakukan untuk memisahkan antara methyl ester dan gliserol, yang selanjutnya methyl ester ini bisa digunakan sebagai bahan bakar setelah dilakukan proses pencucian. Bahan bakar yang dihasilkan dari metode ini memiliki properties yang memenuhi syarat ASTM untuk bahan bakar. Dari segi performa, meskipun memiliki nilai konsumsi bahan bakar yang lebih tinggi, penggunaan bahan bakar ini memiliki *mechanical efficiency* yang lebih baik daripada bahan bakar solar biasa (Patel et al., n.d. 2015).

Selain pemanfaatan limbah yang telah disebutkan diatas, penelitian mengenai sumber bahan bakar alternatif juga dilakukan dengan memanfaatkan limbah minyak pelumas bekas. Selain dikarenakan mampu merusak lingkungan, limbah minyak pelumas bekas jumlahnya diprediksi akan terus mengalami peningkatan. Hal ini dikarenakan makin meningkatnya pula proses industri di dunia. Pada 2010, R. A Beg membuat bahan bakar yang berasal dari minyak pelumas bekas mesin kapal. Metode yang digunakan yaitu dengan proses *chemical filtration* dan *blending proses*. Dengan metode ini, didapatkan bahan bakar yang memiliki properties *viskositas*, *flash point*, serta *fire point* yang lebih tinggi, akan tetapi masih dalam batas yang bisa ditolerir (Beg et al., n.d.2010).Sedangkan dampak penggunaannya pada mesin diesel masih belum diteliti.

Proses pengolahan minyak pelumas bekas menjadi bahan bakar diesel juga bisa dilakukan dengan metode lain. Pada tahun 2013, K Nalma pernah melakukan penelitian ini dengan menggunakan metode distilasi. Adapun bahan bakar yang dihasilkan memiliki karakteristik thermal dan physical yang menyerupai solar biasa. Sedangkan dari segi performa mesin, nilai torsi, BMEP, dan *Brake Thermal Efficiency* yang dihasilkan lebih tinggi daripada penggunaan solar konvensional. Selain itu, tingkat

konsumsi bahan bakar yang dihasilkan juga lebih rendah (Naima and Liazid, n.d. 2013). Dengan karakteristik hasil pengujian performa yang sama. Metode pengolahan minyak pelumas bekas menjadi bahan bakar juga bisa dilakukan dengan menggunakan metode microwave pirolisis (Nasim et al., n.d. 2014). Penelitian bahan bakar yang berasal dari daur ulang minyak pelumas bekas tidak hanya terbatas pada pengujian performa. Akan tetapi, penelitian serupa juga telah dilakukan untuk mengamati dampak emisi yang ditimbulkan dari penggunaan bahan bakar ini. Penggunaan bahan bakar dari minyak pelumas bekas dengan metode distilasi menunjukkan bahwa bahan bakar ini menghasilkan emisi NO<sub>x</sub> yang lebih tinggi pada beban menengah dan beban berat. Begitu juga untuk emisi HC dan CO, yang memiliki nilai lebih tinggi daripada bahan bakar solar konvensional (Wang and Ni, 2017).

Penelitian bahan bakar yang berasal dari daur ulang minyak pelumas bekas tidak hanya terbatas pada penggunaan mesin diesel di darat. Akan tetapi, penelitian serupa juga telah dilakukan untuk mengamati dampak yang ditimbulkan dari penggunaan bahan bakar ini pada mesin kapal. Pada awalnya penelitian yang pernah dilakukan meneliti kesesuaian teknis bahan bakar alternatif untuk penggunaannya pada *marine diesel engine*, melalui uji laboratorium dan tes kinerja mesin. Bahan bakar alternatif yang digunakan berdasarkan limbah minyak yang diperoleh dari minyak pelumas bekas otomotif. Dari penelitian ini didapatkan hasil bahwa bahan bakar alternatif memenuhi persyaratan peraturan ISO 8217 untuk minyak sulungan, dengan pengecualian viskositas, yang 1,9 kali lebih tinggi, sehingga membutuhkan pemanasan bahan bakar alternatif sebelum digunakan. Sedangkan, dari segi konsumsi bahan bakar, solar konvensional lebih baik daripada bahan bakar alternatif, dan emisi karbon berkurang secara drastis pada kedua bahan bakar (Gabiña et al., 2016). Kinerja bahan bakar alternatif yang baik menunjukkan kelayakan untuk digunakan pada diesel kecepatan menengah pada mesin kapal yang biasa digunakan, misalnya, di kapal penangkap ikan. Selanjutnya, Bahan bakar alternatif diuji pada *full scale marine diesel engine test bench* dengan mensimulasikan kondisi operasi nyata untuk mesin diesel dan generator diesel listrik dalam beban tetap. Untuk tujuan ini, mesinnya didinginkan dengan air laut dan dipasangkan ke rem hidrolik, yang memungkinkan dilakukannya pengujian pada mesin yang berbeda mode beban dan propulsinya, seperti sistem propulsi *controllable* dan *fixed pitch propeller*. Dari penelitian ini hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa bahan bakar alternatif terbakar dengan cepat tetapi terdapat penundaan pada akhir pembakaran. Efisiensi energi dari mesin diesel sebanding dengan bahan bakar destilasi yang biasa digunakan oleh kapal perikanan; Namun, karena nilai kalor yang lebih tinggi, bahan bakar alternatif menyajikan konsumsi bahan bakar yang lebih rendah. Menurut emisi, bahan bakar alternatif menunjukkan NO<sub>x</sub> dan CO<sub>2</sub> yang lebih rendah tingkat emisinya tetapi emisi CO dan asap sedikit lebih tinggi daripada bahan bakar biasa (Gabiña et al., 2019).

## 2.1 Minyak Pelumas

Tujuan utama digunakannya minyak pelumas pada mesin adalah untuk mengurangi efek gesekan dari berbagai komponen mesin yang bergerak. Minyak pelumas juga bisa mengurangi temperature dari area kontak antar bagian yang bergesekan, dan gesekan inilah yang merupakan penyebab utama terjadinya losses energi. Oleh karena itu, kualitas dan jenis dari minyak pelumas memiliki peran penting dalam mengurangi gesekan yang terjadi antar komponen yang bergerak pada mesin. (Kalam et al., 2017)

Selain fungsi utamanya untuk mengurangi gesekan, minyak pelumas juga memiliki fungsi lain seperti (Kanna, n.d., 2017) :

- a. Mengurangi ekspansi dari material yang diakibatkan oleh panas gesekan dan kerusakan dari material
- b. Minyak pelumas berguna sebagai pendingin dari material
- c. Minyak pelumas mengurangi gerakan antar komponen yang tidak teratur
- d. Secara tidak langsung, minyak pelumas mengurangi biaya perawatan mesin
- e. Minyak pelumas juga mengurangi *power loss* pada *internal combustion engine*

Adapun menurut (Mekonnen, 2014), *physical properties* yang dimiliki oleh minyak pelumas meliputi *viscositas*, *pour point*, *flash point*, *oxidation stability*, *thermal stability*, dan lainnya akan menentukan kualitas dari minyak pelumas tersebut, serta selama masa pemakaian dari minyak pelumas tersebut, sifat sifat yang disebutkan tadi akan hilang atau berkurang.

### a. *Oil Viscosity*

Parameter yang paling penting untuk diperhatikan dari minyak pelumas merupakan nilai viskositasnya. Nilai viskositas minyak pelumas akan berubah berdasarkan suhu, tekanan, dan lapisan minyak pelumas yang dihasilkan. Pada penggunaannya, nilai viskositas ini digunakan untuk menunjukkan performa optimal dari minyak pelumas berdasarkan temperaturnya. Ada banyak klasifikasi yang digunakan untuk menunjukkan tingkat viskositas dari minyak pelumas, akan tetapi yang paling banyak digunakan adalah standart SAE (*Society of Automotive Engineers*) dan ISO (*International Organization for Standardization*).

### b. *Specific Gravity*

*Spesific gravity* adalah rasio dari massa volume minyak pelumas pada suhu tertentu dibandingkan dengan massa dari volume air yang sama pada temperatur yang sama pula.

### c. *Pour Point & Flash Point*

*Pour Point* adalah suhu terendah dari minyak pelumas untuk dialirkan ketika minyak pelumas tersebut didinginkan. Sedangkan *flash point* adalah suhu ketika uap dari minyak pelumas tersebut akan terbakar

### d. *Oxidation Stability*

*Oxydation stability* adalah ketahanan dari minyak pelumas untuk pecah menjadi molekul atau tersusun kembali pada suhu lingkungan standart,

Minyak pelumas dapat teroksidasi ketika terpapar dengan udara. Sifat ini, berpengaruh besar terhadap daya tahan dari minyak pelumas

e. *Neutralization Number*

Sifat ini mengacu pada tingkat keasaman atau basa dari minyak pelumas. Minyak pelumas yang memiliki sifat asam akan dilambangkan dengan TAN (*Total Acid Number*), sedangkan untuk minyak pelumas yang memiliki sifat basa akan dilambangkan dengan TBN (*Total Base Number*). Pada umumnya, minyak pelumas TBN digunakan pada mesin yang berbahan bakar rendah seperti minyak pelumas pada mesin diesel.

Tabel 2.1 Karakteristik Minyak Pelumas BELL1 DT-F

Typical Characteristics		
Test Description	Method	
SAE Viscosity Grade	SAE J 300	40
Specific gravity @ 15C	ASTM D 4052	0,898
Flash Point	ASTM D 92	238
Pour Point	ASTM D 97	-9
Kinematic Viscosity @ 40C	ASTM D 445	161
Kinematic Viscosity @ 100C	ASTM D 445	15,2
Viscosity index	ASTM D 2270	97
TBN	ASTM D 2896	11
Colour	ASTM D 1500	<3,0

## 2.2 Minyak Pelumas Bekas

Minyak pelumas yang telah digunakan dalam waktu cukup lama akan mengalami perubahan komposisi atau susunan kimia, selain itu juga akan mengalami perubahan sifat fisis, maupun mekanis. Hal ini disebabkan karena pengaruh tekanan dan suhu selama penggunaan dan juga kotoran-kotoran yang masuk ke dalam minyak pelumas itu sendiri. (Cipta, n.d., 2010). Degradasi dari minyak pelumas disebabkan oleh banyak hal, bahkan ketika minyak pelumas bekerja pada kondisi ideal dengan metode perawatan yang baik, minyak pelumas akan tetap mengalami degradasi dan perlu diganti. Adapun penyebab perubahan sifat yang terjadi pada minyak pelumas selama digunakan pada *internal combustion engine* (Mekonnen, n.d., 2014) yaitu:

a. Oksidasi

Oksidasi merupakan penyebab utama menurunnya sifat minyak pelumas dan bahan additivnya. Bahan kimia di dalam minyak pelumas mesin akan terus bereaksi dengan oksigen di dalam mesin. Dampak negatif yang ditimbulkan dari proses oksidasi ini adalah dihasilkannya produk hasil pembakaran yang bersifat asam di dalam mesin. Zat asam ini nantinya akan menimbulkan korosi didalam komponen mesin, deposit, sludge dan masalah lain yang ditimbulkan yang dapat mempengaruhi performa dan jangka waktu pemakaian dari mesin. Secara umum, oksidasi dapat merubah hampir semua properties dari minyak pelumas, terutama viskositas, *pour point*, *flash point*, *volatility*, dan *neutralization number*.

b. Degradasi Thermal

Ketika minyak pelumas mesin dipanaskan pada suhu tertentu, minyak pelumas ini akan mulai mengalami degradasi, bahkan ketika kondisi tidak terdapat oksigen. Peristiwa ini disebut degradasi thermal dan dapat menyebabkan perubahan pada viskositas minyak pelumas. Nilai stabilitas thermal dari minyak pelumas tidak dapat ditingkatkan melalui penambahan aditif, tapi dapat dilakukan dengan cara memurnikan senyawa yang sama yang dapat mengurangi ketahanan terhadap oksidasi. Selain merubah sifat viskositas dan keseimbangan oksidasi dari minyak pelumas, degradasi thermal dapat berpengaruh secara signifikan terhadap *volatility* dan laju penguapan dari minyak pelumas, serta dapat juga meningkatkan residu karbon didalamnya.

c. Korosi

Minyak bumi yang baru atau yang dijaga kebersihannya dengan filtrasi yang tepat umumnya tidak korosif dan akan memberikan perlindungan yang baik terhadap korosi yang disebabkan oleh atmosfer. Namun, di dalam produk turunan dari minyak bumi, oksidasi oli mesin akan merusak bagian komponen dalam mesin dan material bantalan yang biasanya diproduksi dengan aluminium, tembaga, timah, dan timah. Air di dalam mesin hadir karena kondensasi yang disebabkan oleh perubahan suhu dan kelembaban didalam mesin, hal ini di karenakan mesin tidak pernah mencapai suhu operasi yang tepat. Korosi dapat mempercepat oksidasi & ketidakstabilan termal, dan selanjutnya akan merusak sifat sifat yang dimiliki minyak pelumas

d. Kontaminasi

Kontaminasi oli motor juga menyebabkan kerusakan oli. Beberapa sumber kontaminan yang lebih umum termasuk kotoran, pasir dan debu dari udara, jelaga, bahan bakar yang tidak terbakar dalam minyak, air dari kondensasi dari proses pembakaran, memakai partikel logam yang tidak dapat ditangkap dan disaring oleh filter oli, korosi oleh-produk dan elemen aditif yang telah terdegradasi. Selain itu kotoran, pasir dan debu dapat terus memasuki mesin dan, selain membuat lebih banyak serpihan keausan, bergabung dengan kontaminan lainnya dan menyebabkan lebih banyak kerusakan daripada yang akan terpisah.

Salah satu produk sampingan yang paling banyak dihasilkan dari pembakaran adalah jelaga. Jelaga bisa sangat abrasif dan juga menyebabkan filter penuh dan buntu dalam kasus yang ekstrem. Kontaminan lain adalah produk sampingan asam dari pembakaran, yang dapat menghasilkan campuran yang sangat korosif dan menyebabkan korosi pada komponen dalam mesin. Produk asam yang sama ini juga dapat bercampur dengan air di dalam mesin dan membentuk emulsi yang dapat menyebabkan masalah dengan filter oli.

Secara umum, minyak pelumas kehilangan keefektifannya selama operasi karena adanya jenis kontaminan tertentu. Kontaminan ini dapat dibagi menjadi kontaminan asing dan produk dari kerusakan minyak pelumas itu sendiri.

Tabel 2.2 Jenis Kontaminan Pada Minyak Pelumas Bekas (Mekonnen, n.d., 2014)

Metals	Chlorinated hydrocarbons	Other organic compounds
<i>Cadmium</i>	<i>Dichlorodifluoromethane</i>	<i>Benzene</i>
<i>Chromium</i>	<i>Trichlorotrifluoroethane</i>	<i>Toluene</i>
<i>Arsenic</i>	<i>Tetrachloroethylene</i>	<i>Xylene</i>
<i>Barium</i>	<i>1,1,1- Trichloroethane</i>	<i>Benzo(a)anthracene</i>
<i>Zinc</i>	<i>Trichloroethene</i>	<i>Benzo(a)pyrene</i>
<i>Lead</i>	<i>Total Chlorine</i>	<i>Naphthalene</i>
		<i>PCB's</i>

### 2.3 Pemanfaatan dan Pengolahan Minyak Pelumas bekas

Minyak pelumas bekas yang dikeluarkan dari peralatan biasanya dibuang begitu saja bahkan ada yang dimanfaatkan kembali tanpa melalui proses daur ulang yang benar. Oleh karena itu akan lebih aman dan tepat apabila minyak pelumas bekas dapat diolah kembali. Usaha-usaha yang dapat dilakukan dalam penanggulangan pencemaran dan pemanfaatan kembali terhadap pelumas bekas antara lain yang pernah dilakukan adalah (Cipta, n.d., 2010):

- Dipergunakan sebagai bahan bakar (*fuel oil*) untuk industri, untuk maksud tersebut dibutuhkan alat-alat yang khusus seperti dapur khusus dan *electrostatic precipitatus* guna membersihkan gas buang, cara ini ditinjau dari segi ekonomis lebih mahal dari bahan bakar biasa.
- Diolah kembali sehingga minyak pelumas “baru”, cara pengolahan minyak pelumas bekas ini dimungkinkan karena pada hakikatnya minyak pelumas bekas berasal dari minyak pelumas yang mengalami pengotoran.

Menurut (Raharjo, 2007), terdapat 2 jenis minyak pelumas bekas, yaitu :

- Minyak pelumas bekas industri (*light industrid oil*), minyak pelumas ini relatif lebih bersih dan mudah dibersihkan dengan perlakuan sederhana, seperti penyaringan dan pemanasan.
- Minyak pelumas hitam (*black oil*), minyak pelumas ini berasal dari pelumasan otomotif. Minyak pelumas ini dalam pemakaiannya mendapat beban termal dan mekanis yang lebih tinggi. Dalam minyak pelumas hitam ini pula terkandung partikel logam dan sisa pembakaran.

Adapun contoh perbandingan sifat yang dimiliki minyak pelumas bekas dengan minyak pelumas baru berdasarkan beberapa referensi didapatkan data sebagai berikut :

Tabel 2.3 Perbandingan karakteristik Minyak Pelumas Bekas (Prasaji, 2013)

Parameter	Satuan	Nilai	
		Base oil(HVI 95)	Oli baru
Transmutansi	%	91,1	96,3
Viskositas	cp	61,945	55,857
Spesifik gravity	-	0,953	0,866

**Tabel 1. Karakteristik Minyak Pelumas Bekas**

Parameter	Satuan	Nilai
Transmitansi	%	5,4
Viskositas	cp	58,879
Spesifik gravity	-	0,868

Teknologi daur ulang minyak pelumas bekas dapat dilakukan dengan bermacam-macam metode, berdasarkan proses utama yang digunakan teknologi pemurnian minyak pelumas bekas dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok (Petder, 2012) :

a. *Hydroprocessing*

Pemurnian minyak pelumas bekas dilakukan dengan *Hydrotreating Unit* guna mengeliminasi sejumlah kontaminan dimana dalam prosesnya terjadi hidrogenasi katalitik yang juga dapat menjenuhkan hidrokarbon. Beberapa teknologi pemurnian yang menggunakan metode ini antara lain:

- *CEP Process*
- *Mohawk Process*
- *Hylube Process*
- *Revelvoil Process*
- *Cyclon Process*
- *Snamprogetti process*

b. *Solvent Extraction*

Merupakan proses daur ulang minyak pelumas bekas berdasarkan pada proses ekstraksi superkritis menggunakan pelarut sebelum proses distilasi atmosferik. Pada proses ekstraksi, pelarut (biasanya menggunakan pelarut propana) digunakan untuk menghilangkan sebagian besar senyawa aditif pada minyak pelumas bekas. Proses ini menghasilkan beberapa kelompok senyawa, yaitu aspal, padatan tersuspensi dan minyak yang mengandung pelarut. Aspal dan padatan tersuspensi merupakan residu dari proses ekstraksi menggunakan pelarut. Sedangkan minyak yang mengandung pelarut akan dilakukan proses *oil-solvent separation* untuk memisahkan minyak dengan pelarut. Beberapa teknologi pemurnian yang menggunakan metode ini antara lain:

- *Avista Oil Solvent Extraction Process*
- *Rose Process*
- *Proterra Process*
- *Interline Process*

c. *Acid and Clay Process*

Proses *acid and clay* ini merupakan metode yang paling banyak digunakan oleh fasilitas pemurnian ulang minyak bekas, oli bekas pada awalnya akan dilakukan *filtrasi* dan *dewatering*. Produk ringan (Etana, Metana, dll.) Dihilangkan pada langkah distilasi awal. Kemudian dicampur dengan asam sulfat yang mengekstraksi senyawa oksigen, aspal, turunan resin, senyawa berbasis nitrogen dan sulfur lainnya dan

kontaminan logam dari minyak pelumas bekas. Pada akhir proses ini, konsentrasi molekul parafin dan naphtalene yang diinginkan tetap ada dalam minyak. Selanjutnya, minyak dicampur dengan tanah liat aktif untuk menghilangkan warna dan bau. Setelah langkah penyaringan, produk hasil olahan minyak bekas akan memiliki kualifikasi yang diperlukan untuk menghasilkan minyak dasar.

Salah satu kelemahan utama dari proses ini adalah proses ini menyebabkan pencemaran lingkungan karena dihasilkannya lumpur asam dan emisi gas asam. Kedua residu dianggap sebagai limbah berbahaya karena mengandung logam beracun dan asam sulfat dan biaya pembuangannya tinggi. Namun, masih digunakan di negara-negara seperti Brasil, India dan Cina untuk menghasilkan produk pasar berkualitas rendah

Selain metode diatas, ada pula metode pemurnian minyak pelumas bekas yaitu dengan metode distilasi. Proses distilasi vakum dilakukan untuk menghilangkan air pada temperatur 250 °C, mencerahkan warna akibat hidrokarbon dan proses hidrogenasi untuk menghilangkan bau dari sulfur, nitrogen dan senyawa oksigen. Hasil yang diperoleh sekitar 82% dan minim polusi, namun metode ini membutuhkan temperatur tinggi serta waktu yang relatif lama. (Hamawand et al., 2013). Distilasi vakum yang diikuti dengan proses hydrotreating dengan tekanan dan suhu tinggi dengan menggunakan katalis tertentu dapat bertujuan untuk menghilangkan klorin, sulfur, nitrogen dan komponen organik. Hasil residu dari proses distilasi minyak pelumas juga bisa digunakan untuk campuran produksi aspal. Kelebihan dari proses distilasi ini yaitu proses ini cocok digunakan untuk plant yang memiliki kapasitas produksi yang besar, tidak menghasilkan emisi, serta menghasilkan minyak yang berkualitas baik. (Oladimeji, 2018)

Sebenarnya, minyak pelumas bekas dapat langsung dibakar menggunakan alat bakar (*burner*) karena minyak pelumas bekas memiliki nilai kalor. Masalahnya adalah terdapatnya kandungan air dalam minyak pelumas bekas. Air akan menyerap energi yang cukup besar untuk proses penguapan menjadi gas. Selain itu, dalam minyak pelumas bekas terdapat kotoran seperti abu dan logam yang akan mengganggu proses pembakaran dan merusak komponen jika langsung digunakan sebagai bahan bakar. (Raharjo, 2007).

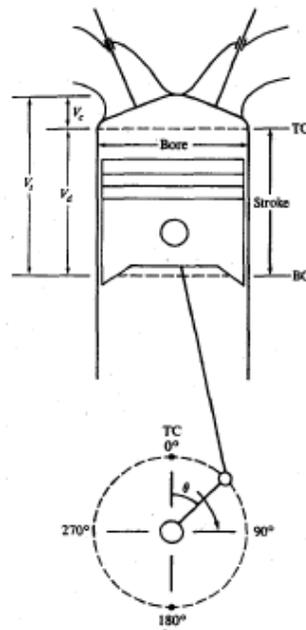
Menurut (Australian Academy of Technological Sciences and Engineering et al., 2004), tahapan pengolahan minyak pelumas bekas yang pada umumnya digunakan pada fasilitas pengolahan minyak pelumas meliputi :

- a. Proses Penyaringan, proses penyaringan ini dilakukan menggunakan strainer untuk menyaring partikel berukuran besar beserta air berminyak
- b. Proses *dehydration*, proses ini dilakukan untuk mengurangi kandungan air hingga dibawah 1%
- c. Proses *Demineralisation*, proses ini bertujuan untuk menghilangkan logam, abu, air dan padatan

- d. *Thin Film Evaporation*, merupakan proses distilasi vakum untuk menghasilkan bahan bakar diesel
- e. *Propane de-asphalting (PDA)*, proses ini akan menghasilkan bahan bakar diesel, dan *base oil*
- f. *Thermal Cracking*, proses ini dilakukan diatas temperatur  $300^{\circ}\text{C}$  dan menghasilkan bahan bakar diesel
- g. *Solvent Extraction*, proses ini merupakan proses lebih lanjut yang dilakukan untuk menghasilkan minyak pelumas dengan kualitas tinggi

## 2.4 Performa Mesin

Parameter yang digunakan untuk menunjukkan performa mesin diesel yaitu meliputi torsi dan daya, serta konsumsi bahan bakar. Oleh karena itu, jika ingin mengetahui parameter performa dari mesin diesel yang akan diuji perlu diketahui spesifikasi dari mesin diesel tersebut. Adapun spesifikasi yang perlu untuk diketahui meliputi volume langkah torak, volume sisa, volume silinder, dan rasio kompresi dari mesin.



Gambar 2.1 Geometri Dasar Piston Pada *Internal Combustion Engine* (Heywood, 1988)

### 2.4.1 Torsi dan Daya

Torsi adalah tenaga untuk menggerakkan, menarik atau menjalankan sesuatu (*pulling power*). Satuan untuk torsi di internasional adalah feet/lbs, feet-pounds atau Newtonmeter (Nm). Torsi dihasilkan dari jarak dan

kekuatan dan untuk menghitungnya adalah perkalian antara tenaga dengan jarak. Mesin dari kendaraan menghasilkan torsi dan menggunakannya untuk menggerakkan *crankshaft*. Jadi, torsi adalah tenaga yang digunakan pada suatu jarak tertentu. Torsi mesin diesel dapat dihitung berdasarkan daya yang telah dihitung dalam persamaan (2-1) dengan menggunakan rumus hubungan daya terhadap putaran dan torsi (2-2). (Willard W. Pulkrabek)

*Power* yang dikirimkan oleh mesin adalah dari torsi dan kecepatan sudut yang dihasilkan mesin, *power* ini disebut sebagai *Power Brake* yang dirumuskan, (John B. Heywood, 1988)

$$P_b = T \cdot \omega \quad \dots\dots\dots (2-1)$$

$$P_b = \frac{MEP \cdot V_d \cdot N}{60} \quad \dots\dots\dots (2-2)$$

Dimana,

- $P_b$  : daya mesin (W)
- MEP : *mean effective pressure* mesin diesel (576kPa)
- N : putaran mesin (*revolution/minutes*)
- $V_d$  : *displacement* mesin diesel
- $N_R$  : jumlah revolusi *crankshaft*
- T : torsi mesin (Nm)

2.4.2 SFOC

SFOC atau yang merupakan singkatan dari *Specific Fuel Oil Consumption* merupakan perbandingan laju aliran massa bahan bakar per satuan tenaga. SFOC digunakan sebagai parameter efisien atau tidaknya bahan bakar yang digunakan untuk menghasilkan tenaga. Menurut Willard W. Pulkrabek, konsumsi bahan bakar spesifik dirumuskan

$$SFOC = \frac{I_{mf}}{P_b} \quad \dots\dots\dots (2-3)$$

Dimana,

- Sfoc : konsumsi bahan bakar spesifik (kg/kWh)
- $I_{mf}$  : laju aliran bahan bakar (kg/jam)
- $P_b$  : daya mesin (kW)

Besarnya laju aliran massa bahan bakar ( $I_{mf}$ ) dihitung dengan persamaan berikut,

$$I_{\text{G}} L \frac{\dot{m}_{\text{N}_2} C_{\text{N}_2} \cdot 7}{\dot{Q}_{\text{N}}} \text{uxrr} \dots \dots \dots (2-4)$$

Dimana,

$\dot{Q}_{\text{N}}$  : konsumsi bahan bakar spesifik (kg/kWh)

$\dot{m}_{\text{N}_2}$  : laju aliran bahan bakar (kg/jam)

$P_{\text{N}}$  : daya mesin (kW)

## 2.5 Emisi NOx

Emisi merupakan zat, energy atau komponen yang dihasilkan oleh kegiatan yang berlebihan, sehingga menimbulkan terganggunya suatu system. Sebagai contoh adalah Emisi Gas Buang yang dihasilkan dari proses pembakaran mesin. Dalam beberapa tahun terakhir, emisi NOx, SOx dan partikel dari kapal telah meningkat. Sumbangan emisi NOx dari bidang pelayaran internasional menyumbang 15% dari total NOx global, banyak pihak yang menekankan agar ditemukan cara untuk mereduksi NOx tersebut. Menurut (Wang and Ni, 2017), pada penelitian yang dilakukan untuk menguji karakter emisi Nox pada bahan bakar hasil olahan minyak pelumas bekas yang dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar solar biasa diketahui bahwa, faktor utama pembentukan emisi NOx tergantung pada konsentrasi oksigen, suhu tinggi dan durasi suhu tinggi. Dengan demikian dapat terlihat bahwa, emisi NOx untuk kedua bahan bakar naik karena beban mesin meningkat. Pada kondisi terukur, konsentrasi NOx dari bahan bakar hasil olahan minyak pelumas atau yang disebut DLF (*Diesel Like Fuel*) dan bahan bakar diesel masing-masing 680 ppm dan 750 ppm. Emisi NOx dari DLF hampir sama dengan jumlah emisi Nox yang dihasilkan bahan bakar diesel pada beban ringan, tetapi sedikit lebih tinggi pada pembebanan menengah dan beban yang berat. DLF dapat menghasilkan lebih banyak NOx daripada bahan bakar diesel, terutama karena suhu pembakaran yang lebih tinggi dan durasi pembakaran yang lebih lama pada saat pembebanan menengah dan beban berat.

### 2.5.1 Test Cycle and Weight Factor

Adapun pengujian emisi dan faktor pembebanan harus dilakukan untuk memverifikasikan penyesuaian dari mesin diesel dengan pembatasan limit berdasarkan pada regulasi 13 pada Annex VI (*IMO*, 2016). Dikarenakan pada penelitian kali ini mesin diesel yang digunakan merupakan diesel electric drive, maka test cycle dan weight factor yang digunakan merupakan test cycle type E2.

Tabel 2.4 Tabel Pengetesan IMO

Test cycle type E2	Speed	100%	100%	100%	100%
	Power	100%	75%	50%	25%
	Weighting factor	0.2	0.5	0.15	0.15

Jumlah emisi NOx diperoleh dari pengujian melibatkan laju aliran massa emisi yang dihitung menggunakan metode keseimbangan karbon. Selanjutnya, suhu, tekanan, kelembaban, dan komposisi bahan bakar dipertimbangkan saat menghasilkan nilai emisi NOx yang mengacu NTC 2008 (Cheng, 2017). Sebagaimana dinyatakan dalam persamaan 2.5 dan 2.6 berikut

$$Q_i = U_{gas} \times C_{gas} \times G_{mew} \times K_{hd} \dots \dots \dots (2-5)$$

$$Q_i = U_{gas} \times C_{gas} \times G_{mew} \times K_{hd} \dots \dots \dots (2-5)$$

Dimana,

$Q_i$  : NOx emission mass flow rate (g/h)

$W_f$  : Weighting Factor

$P_i$  : Measured power at each mode (kW)

$U_{gas}$  : ratio between density of exhaust component and density of exhaust gas

$C_{gas}$  : Concentration of the respective component in the raw exhaust gas (ppm)

$G_{mew}$  : Exhaust mass flow (kg/h)

$K_{hd}$  : NOx humidity correction factor

### 2.5.2 IMO Emission Standard

Emisi NOx adalah gas yang dihasilkan dari nitrogen yang terdapat pada bahan bakar yang dihasilkan dari pembakaran mesin diesel dan dilepaskan ke udara. IMO mengatur aturan polusi ini dalam “*International Convention On The Prevention Of Pollution From Ship*” yang dikenal sebagai MARPOL 73/78 yang menetapkan batas emisi NOx dan SOx dari kapal. Batas emisi NOx ditetapkan untuk mesin diesel yang bergantung pada kecepatan operasi mesin maksimum (n,rpm). Batas Tier I dan Tier II bersifat umum, sedangkan standar Tier III hanya berlaku di *Emission Control Area* (ECA)

Tabel 2.5 Marpol Annex VI NOx Emission Limit

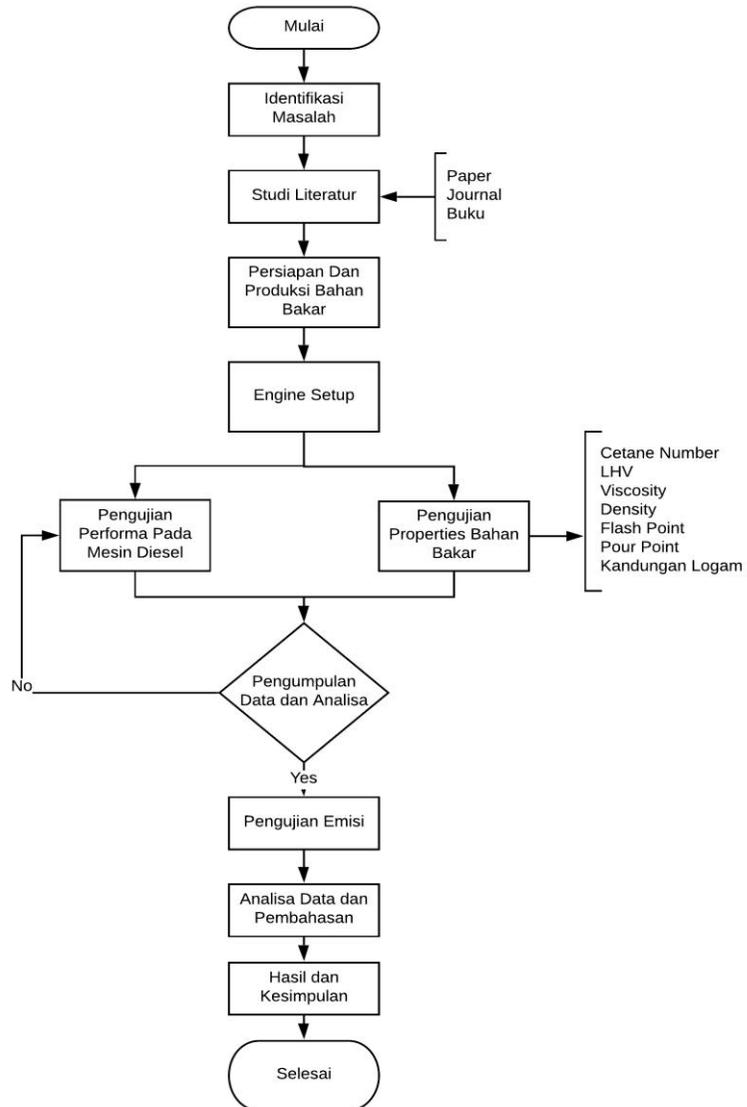
Table 1. MARPOL Annex VI NOx Emission Limits				
Tier	Date	NOx Limit, g/kWh		
		n < 130	130 ≤ n < 2000	n ≥ 2000
Tier I	2000	17.0	45 · n <sup>-0.2</sup>	9.8
Tier II	2011	14.4	44 · n <sup>-0.23</sup>	7.7
Tier III	2016†	3.4	9 · n <sup>-0.2</sup>	1.96

† In NOx Emission Control Areas (Tier II standards apply outside ECAs).

### BAB III

#### Metode Penelitian

Metode penelitian yang akan dipergunakan adalah eksperimental murni, yaitu menguji suatu perlakuan terhadap proses, dimana dilakukan *variasi variabel* bebas dan diamati pengaruhnya terhadap *variabel* terikat, kemudian dianalisis sehingga diperoleh suatu pola sebab akibat antara *variabel* yang diteliti. Adapun tahap dan proses yang dilakukan dalam penelitian adalah mengikuti diagram alir di bawah ini :



Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian

### 3.1 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah pada penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana cara mengolah minyak pelumas bekas menjadi bahan bakar, serta dampak dari penggunaan bahan bakar yang berasal dari pengolahan limbah minyak pelumas bekas terhadap karakter performa dan emisi NOx yang dihasilkan pada mesin diesel Yanmar 85 TF

### 3.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendukung penelitian yang akan dilakukan. Studi literatur bertujuan mempelajari teori-teori yang dapat menunjang permasalahan yang ada. Studi literatur dapat diperoleh melalui jurnal, buku, dan internet. Pada penelitian ini studi literatur mengacu pada pengolahan dan pemanfaatan limbah oli bekas menjadi bahan bakar alternative serta dampak dari penggunaan bahan bakar yang berasal dari pengolahan limbah oli bekas terhadap karakter performa dan emisi NOx yang dihasilkan pada mesin diesel Yanmar 85 TF

### 3.3 Persiapan Alat dan Bahan

Pada tahap ini dilakukan persiapan perlengkapan sebelum dilaksanakannya eksperimen analisis performa dan emisi NOx bahan bakar hasil olahan minyak pelumas bekas. Alat dan bahan yang dibutuhkan untuk melakukan eksperimen ini adalah sebagai berikut :

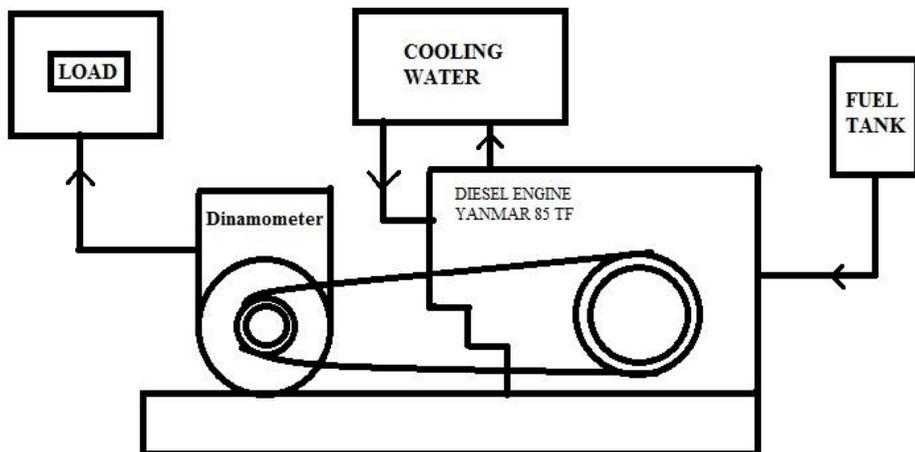
- a. Bahan Bakar Solar
- b. Minyak pelumas bekas, pada penelitian kali ini yang digunakan adalah minyak pelumas bekas BELL 1 DT-F SAE 40 CF2/SG, pemakaian 8000 – 9000 km dalam waktu 1 bulan
- c. Mesin Diesel Yanmar TF 85-MH
- d. Alat pengaduk
- e. Distilator
- f. Thermometer
- g. Timbangan
- h. Gelas ukur
- i. Gelas beker
- j. Heater
- k. Komputer sebagai pengolahan data

Untuk penentuan variabel bahan bakar yang akan digunakan adalah sebagai berikut :

- a. Variabel Bahan Bakar
  - i. B20 = 80% HSD + 20% Biodiesel
  - ii. DLF20 = 80% HSD + 20% *Diesel Like Fuel*
- b. Variabel RPM
  - i. Pada RPM 1800
  - ii. Pada RPM 1900
  - iii. Pada RPM 2000
  - iv. Pada RPM 2100

- v. Pada RPM 2200
- c. Variabel Beban
  - i. Beban *Full Load* (Titik dimana penggunaan bahan bakar yang efisien)
  - ii. RPM Maksimum
- d. Variabel Kontrol
  - i. Analog Set Up
  - ii. Engine Set Up
- e. Variabel Hasil
  - i. *Engine Performance Carachteristic*
  - ii. Kadar Emisi NOx

Pada *Engine Set Up* dilakukan pengecekan awal (*Running Test*) mesin terlebih dahulu mengenai kondisi mesin, basic performance mesin, *full load* dari mesin untuk mengetahui kondisi awal mesin sebelum dilakukan penelitian terhadap mesin yang akan digunakan. Data mesin yang digunakan dalam pengambilan data adalah YANMAR Diesel Engine dengan tipe TF 85 MH-di. Mesin ini berkapasitas 493 cc. Berikut gambar engine set up yang akan dirancang.



Gambar 3.2 *Engine Set Up*

Tabel 3.1 *Engine Spesification*

Brand	:	YANMAR
Model	:	TF-85 MH
Type	:	<i>In-line, Single Cylinder, 4-Stroke, Water Cooling, Direct Injection</i>
Bore x Stroke	:	85 x 87 mm
Piston Displacement	:	493 cc
Rated Power / Rated Speed	:	5,5 kW / 2200 RPM

### 3.4 Pembuatan Bahan Bakar

#### 3.4.1 Proses Distilasi



Gambar 3.3 Proses Pemanasan

Proses distilasi ini dilakukan untuk memisahkan kontaminan yang terdapat pada minyak pelumas, seperti kandungan air, maupun residu lain yang ada dengan memanfaatkan perbedaan titik uap antara *base oil* dengan kontaminan. Secara garis besar, proses distilasi ini melalui 3 tahap, yaitu proses pemanasan, proses distribusi uap, dan diakhiri dengan proses kondensasi. Pada tahap pemanasan, minyak pelumas bekas diletakkan pada sebuah wadah tungku tertutup untuk selanjutnya dipanaskan oleh furnace hingga mencapai titik didih *base oil*, yaitu pada suhu 400 °C. Setelah mencapai titik didihnya, *base oil* yang masih terdapat pada minyak pelumas bekas akan menguap. Hal ini terjadi setelah sebelumnya seluruh kandungan air yang terdapat pada minyak pelumas bekas sebagai kontaminan telah menguap pada suhu sekitar 100 °C. Oleh karena itu, pada suhu diatas 400 °C

yang mengalami penguapan adalah seluruhnya merupakan kandungan *base oil*.



Gambar 3.4 Kondensor

Pada tahap kedua, setelah dipanaskan dan telah menjadi uap, uap panas ini disalurkan menuju alat kondenser.



Gambar 3.5 *Base Oil* Hasil Distilasi

Pada tahap terakhir, pada unit kondenser, uap dari *base oil* tadi didinginkan agar berubah lagi wujudnya menjadi cair. Cairan yang keluar dari unit

kondenser inilah yang merupakan *base oil* yang selanjutnya digunakan sebagai campuran pembuatan bahan bakar.

### 3.4.2 Proses Pengubahan Warna Bahan Bakar



Gambar 3.6 *Base Oil* Pasca Proses Pengubahan Warna

Setelah melalui proses distilasi, *base oil* yang diperoleh perlu dilakukan proses lanjutan untuk merubah warna. Hal ini dilakukan dikarenakan meskipun hasil distilasi yang diperoleh merupakan *base oil* yang sudah terbebas dari kontaminannya, *base oil* ini telah mengalami perubahan rantai karbonnya, sehingga semakin lama warna yang dimilikinya akan kembali gelap. Proses pengubahan warna dari *base oil* ini dilakukan dengan menggunakan campuran dari bleaching earth dan karbon aktif yang masing-masing dengan komposisi sebesar 15 % dari volume *base oil* yang digunakan. Campuran dari bleaching earth dan karbon aktif ini digunakan dengan cara *base oil* dipanaskan terlebih dahulu pada suhu 90 °C. Setelah mencapai suhu 90 °C, bleaching earth dan karbon aktif dimasukan lalu diaduk selama 15 menit dengan tetap mempertahankan suhu sekitar 90 °C - 100 °C. Setelah melalui proses pemanasan dan pengadukan, larutan campuran ini kemudian diendapkan selama 8 jam agar campuran bleaching earth dengan karbon aktif dan *base oil* yang warnanya telah berubah menjadi terpisah.

### 3.4.3 Proses Pencampuran Bahan Bakar



Gambar 3.7 Bahan Bakar Campuran *Base Oil* Dengan HSD

Setelah proses pengendapan selesai, *base oil* yang warnanya telah berubah tersebut siap digunakan sebagai campuran bahan bakar mesin diesel. Pencampuran dilakukan dengan cara pencampuran biasa dengan rasio perbandingan sebesar 20% *base oil* hasil olahan, dengan 80% solar HSD. Kemudian hasil campuran ini telah siap digunakan untuk pengujian pada mesin diesel.

## 3.5 Uji Karakteristik Bahan Bakar

Pada tahap ini merupakan tahap uji karakteristik yang dilakukan dalam skala laboratorium. Adapun untuk penelitian kali ini, properties yang diuji meliputi sebagai berikut.

### 3.5.1 *Cetane Number*

Angka Cetane merupakan nilai yang digunakan untuk menunjukkan kualitas bahan bakar motor diesel. Semakin tinggi angka cetane berarti bahan bakar tersebut semakin mudah terbakar dalam kompresi ruang bakar mesin diesel. Semakin mudahnya terbakar bahan bakar tersebut, maka semakin kecil pula ketukan dari mesin diesel.

### 3.5.2 *Low Heating Value*

Heating value merupakan jumlah panas yang dikeluarkan oleh 1 kg bahan bakar ketika bahan bakar tersebut dibakar. Ada 2 macam nilai kalor, Low Heating Value dan High Heating Value. High Heating Value merupakan nilai pembakaran bila didalam gas hasil pembakaran terdapat H<sub>2</sub>O berbentuk

cairan, sedangkan LHV yaitu nilai pembakaran bila didalam gas hasil pembakaran terdapat H<sub>2</sub>O berbentuk gas.

### 3.5.3 *Density*

Densitas merupakan perbandingan antara berat dengan volume bahan bakar. Berat jenis dapat dipengaruhi oleh perubahan temperatur dan tekanan yang diterima oleh bahan bakar. Semakin tinggi tekanan yang dialami bahan bakar, maka berat jenisnya semakin tinggi pula.

### 3.5.4 *Viscosity*

Viskositas merupakan nilai yang menunjukkan kekentalan bahan bakar. Pada bahan bakar, viskositas berpengaruh pada kemudahan bahan bakar untuk mengalir di dalam saluran bahan bakar, pompa, dan injektor. Semakin rendah viskositas bahan bakar, maka semakin mudah bahan bakar tersebut untuk mengalir.

### 3.5.5 *Flash Point*

Titik nyala adalah temperatur terendah bahan bakar yang ketika dipanaskan, maka uap yang bercampur dengan udara dari hasil pemanasan tersebut akan menyala

### 3.5.6 *Pour Point*

*Pour point* atau titik tuang merupakan batas temperatur dimana mulai terbentuknya kristal kristal paraffin. Pada titik tuang yang tinggi bahan bakar tidak dapat mengalir sempurna dan tidak akan terjadi atomisasi yang baik ketika diinjeksikan ke ruang bakar mesin diesel.

## 3.6 Pengumpulan Data

Pengumpulan data diperoleh dengan melakukan Eksperimen pada mesin diesel Yanmar TF-85MH dengan bahan bakar hasil olahan minyak pelumas bekas. Adapun atanya meliputi sebagai berikut :

- x Data Properties Bahan Bakar hasil olahan minyak pelumas bekas
- x Data BMEP, SFOC, Daya, Torsi, Effisiensi Thermal dan temperatur gas buang pada beban I, II, III, IV, V dan RPM 1800, 1900, 2000, 2100, 2200
- x Titik pengambilan data NO<sub>x</sub> dilakukan pada kecepatan mesin diesel 100% dengan 4 variasi beban yaitu berturutan 25%, 50%, 75% dan 100%. (*Appendix Test Cycle Type E2, Marpol Annex VI Regulation 13*)
- x Foto selama pembuatan bahan bakar hasil olahan minyak pelumas bekas dan pengujian

## 3.7 Analisa Data & Pembahasan

Pada penelitian ini analisa data yang dilakukan meliputi BMEP, SFOC, Daya, Torsi, dan emisi NO<sub>x</sub>. Adapun urutan prioritas dalam pengambilan kesimpulan untuk uji performa, dilihat dari Torsi, Daya, SFOC, serta BMEP untuk menentukan bagus tidaknya hasil uji performa.

### **3.8 Kesimpulan & Saran**

Setelah semua yang dilakukan, maka selanjutnya adalah menarik kesimpulan dari analisa data dan percobaan. Diharapkan nantinya hasil kesimpulan dapat menjawab permasalahan yang menjadi tujuan skripsi. Selain itu diperlukan saran berdasarkan hasil penelitian untuk perbaikan tugas akhir supaya lebih sempurna.

### **3.9 Penyusunan Laporan**

Penyusunan laporan mulai dilakukan, asistensi dilakukan dengan dosen pembimbing yang bertujuan untuk mendapat tambahan pengetahuan dan masukan dari dosen pembimbing serta koreksi terhadap kesalahan-kesalahan yang terjadi.

*“Halaman Sengaja Dikosongkan”*

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Properties Bahan Bakar campuran olahan minyak pelumas bekas dengan solar

Analisa data dari hasil pengujian properties bahan bakar meliputi perbandingan dari cetane number, LHV, densitas, viscositas, *flash point*, *pour point*, serta kandungan logam seperti iron (Fe), aluminium (Al), dan chromium (Cr). Setelah properties bahan bakar dari hasil pengujian didapatkan, properties yang dimiliki oleh bahan bakar campuran hasil olahan minyak pelumas bekas dibandingkan dengan bahan bakar solar B20 yang beredar di pasaran. Adapun properties *base oil* hasil distilasi minyak pelumas bekas yang diperoleh pada penelitian kali ini yaitu :

Tabel 4.1 Properties *Base Oil* Hasil Distilasi

No.	Parameter Pengujian	Hasil	Satuan	Metode Pengujian
1	<i>Cetane Number</i>	66,0	-	Cetane Meter
2	<i>Low Heating Value</i>	46591,35	KJ/Kg	Bomb Calorimeter
3	<i>Density</i>	810	Kg/m <sup>3</sup>	
4	<i>Viscosity at 40 °C</i>	3,99	cSt	Viscometer Bath
5	<i>Flash Point</i>	114	°C	ASTM D-93
6	<i>Pour Point</i>	-17	°C	ASTM D 97-85
7	<i>Iron (Fe)</i>	<0,03	PPM	AAS
8	<i>Aluminium (Al)</i>	23,74	PPM	Spektrofotometri
9	<i>Chromium (Cr)</i>	0,0625	PPM	AAS

Dari proses distilasi minyak pelumas bekas, diperoleh *base oil* yang telah terpisah dari kontaminannya. *Base oil* ini selanjutnya dicampur dengan solar High Speed Diesel (HSD) dengan rasio campuran *base oil* sebesar 20% dengan solar HSD sebesar 80%, hasil campuran bahan bakar ini selanjutnya akan disebut sebagai DLF 20. (*Diesel Like Fuel*). Properties yang dimiliki oleh bahan bakar DLF 20 adalah sebagai berikut :

Tabel 4.2 Properties DLF 20

No.	Parameter Pengujian	Hasil	Satuan	Metode Pengujian
1	<i>Cetane Number</i>	68,3	-	Cetane Meter
2	<i>Low Heating Value</i>	42826	KJ/Kg	ASTM D 240
3	<i>Density</i>	855	Kg/m <sup>3</sup>	
4	<i>Viscosity at 40<sup>0</sup>C</i>	4,14	cSt	Viscometer Bath
5	<i>Flash Point</i>	86	<sup>0</sup> C	ASTM D-92
6	<i>Pour Point</i>	-7	<sup>0</sup> C	ASTM D 97-85

Setelah didapatkan properties bahan bakar DLF 20, parameter properties yang sama akan dibandingkan dengan properties yang dimiliki oleh bahan bakar biosolar (B 20) milik Pertamina. Properties yang dimiliki oleh bahan bakar biosolar (B20) milik Pertamina adalah sebagai berikut :

Tabel 4.3 Properties Bahan Bakar B20\*

No.	Parameter Pengujian	Hasil	Satuan	Metode Pengujian
1	<i>Cetane Number</i>	51	-	ASTM D-613
2	<i>Low Heating Value</i>	42537	KJ/Kg	
3	<i>Density</i>	850-890	Kg/m <sup>3</sup>	
4	<i>Viscosity at 40<sup>0</sup>C</i>	2,3 – 6,0	cSt	ASTM D-445
5	<i>Flash Point</i>	100	<sup>0</sup> C	ASTM D-93
6	<i>Pour Point</i>	18	<sup>0</sup> C	ASTM D-97

\*Sumber : Standar dan Mutu Biofuel

Jika dibandingkan properties yang dimiliki oleh kedua bahan bakar yang digunakan pada penelitian ini yaitu bahan bakar campuran hasil olahan minyak pelumas bekas dengan bahan bakar biosolar yang dijual di pasaran maka diperoleh perbandingan sebagai berikut :

Tabel 4.4 Perbandingan Properties B20 dan DLF 20

No.	Parameter Pengujian	Satuan	B20*	DLF20	Metode Pengujian
1	<i>Density</i>	Kg/m <sup>3</sup>	850-890	855	
2	<i>Viscosity at 40<sup>o</sup>C</i>	cSt	2,3 – 6,0	4,14	ASTM D-445 Viscometer Bath
3	<i>Flash Point</i>	<sup>o</sup> C	100	86	ASTM D-93 ASTM D-92
4	<i>Pour Point</i>	<sup>o</sup> C	18	-7	ASTM D-97 ASTM D 97-85
5	<i>Cetane Number</i>	-	51	68,3	ASTM D-613 Cetane Meter
6	<i>Low Heating Value</i>	KJ/Kg	42537	42826	ASTM D 240

\*Sumber : Standar dan Mutu Biofuel

Data dari hasil uji propertis bahan bakar hasil campuran olahan minyak pelumas bekas dengan HSD (DLF 20) ini selanjutnya akan dianalisa per parameter propertiesnya dan akan dibandingkan dengan properties yang dimiliki oleh bahan bakar B 20. Analisa parameter properties yang dilakukan meliputi *cetane number*, *Low Heating Value*, *Density*, *Viscosity*, *Flash Point*, dan *Pour Point*.

#### 4.1.1 *Cetane Number*

Dari tabel 4.4 diatas dapat dilihat bahwa secara properties, bahan bakar yang dihasilkan dari campuran antara solar dengan hasil olahan minyak pelumas bekas memiliki nilai cetane yang lebih baik, yaitu sebesar 68,3 dibandingkan dengan cetane number yang dimiliki oleh B20 yaitu sebesar 51. Hal ini dikarenakan semakin tinggi angka *cetane* berarti bahan bakar tersebut semakin mudah terbakar dalam kompresi ruang bakar mesin diesel. Semakin mudahnya terbakar bahan bakar tersebut, maka semakin kecil pula ketukan dari mesin diesel.

#### 4.1.2 *Low Heating Value*

Heating value merupakan jumlah panas yang dikeluarkan oleh 1 kg bahan bakar ketika bahan bakar tersebut dibakar. Jika ditinjau dari segi properties low heating value (LHV) pada tabel 4.4, bahan bakar DLF 20 memiliki nilai yang lebih besar yaitu 42826 KJ/Kg, sedangkan bahan bakar B20 memiliki nilai LHV hanya sebesar 42537 KJ/Kg

#### 4.1.3 *Density*

Densitas merupakan perbandingan antara berat dengan volume bahan bakar. Berat jenis dapat dipengaruhi oleh perubahan temperatur dan tekanan yang diterima oleh bahan bakar. Untuk perbandingan properties dari segi densitas atau masa jenis pada tabel 4.4, DLF 20 memiliki massa jenis yang memenuhi standar yaitu sebesar 855 Kg/m<sup>3</sup> sedangkan B20 memiliki kisaran nilai sebesar 850 Kg/m<sup>3</sup> sampai 890 Kg/m<sup>3</sup>

#### 4.1.4 *Viscosity*

Viskositas merupakan nilai yang menunjukkan kekentalan bahan bakar. Semakin rendah viskositas bahan bakar, maka semakin mudah bahan bakar tersebut untuk mengalir. Pada perbandingan viskositas diantara kedua bahan bakar, DLF 20 memiliki nilai viskositas sebesar 4,14 cSt, nilai ini masih memenuhi syarat jika mengacu pada batas nilai viskositas yang diperbolehkan untuk bahan bakar biosolar yang tercantum pada standar dan mutu biofuel pertamina, yaitu berkisar antara 2,3 -6,0 cSt.

#### 4.1.5 *Flash Point*

Pada properties *flash point* DLF 20 memiliki nilai yang lebih kecil jika dibandingkan dengan B20. Nilai flash point dari DLF 20 yaitu sebesar 86 °C, sedangkan pada bahan bakar B20 memiliki nilai *flash point* sebesar 100°C. Lebih rendahnya nilai *flash point* yang dimiliki oleh bahan bakar DLF 20 mengakibatkan pada ruang bakar mesin diesel, bahan bakar DLF 20 akan lebih dulu terbakar daripada bahan bakar B20.

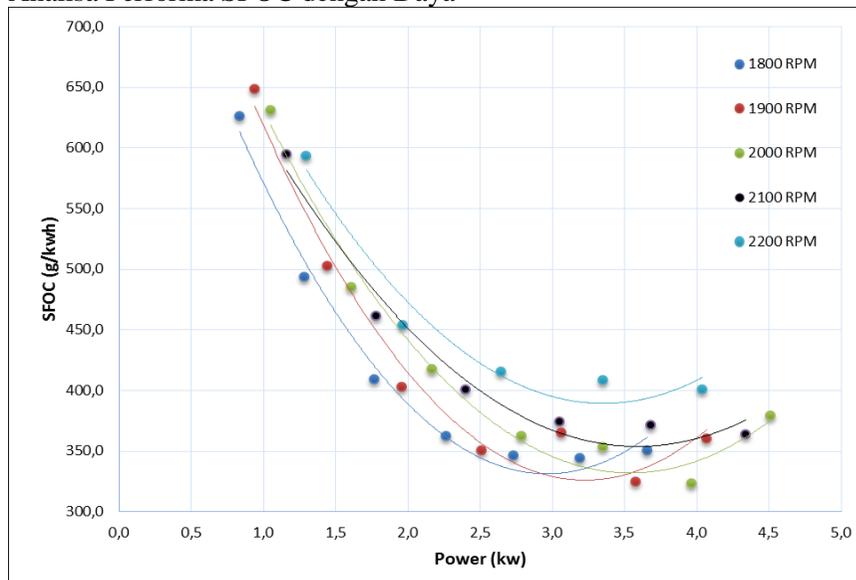
#### 4.1.6 *Pour Point*

Pada properties pour point DLF 20 memiliki nilai yang lebih kecil jika dibandingkan dengan B20. Nilai flash point dari DLF 20 yaitu sebesar -7 °C, sedangkan pada bahan bakar B20 memiliki nilai *pour point* sebesar 18 °c. *Pour point* atau titik tuang merupakan batas temperatur dimana mulai terbentuknya kristal kristal paraffin. Pada titik tuang yang tinggi bahan bakar tidak dapat mengalir sempurna dan tidak akan terjadi atomisasi yang baik ketika diinjeksikan ke ruang bakar mesin diesel.

### 4.2 Performa Motor Diesel Berbahan Bakar DLF 20 dan B 20

Pada Penelitian kali ini akan dilakukan uji performa untuk mengetahui pengaruh penggunaan bahan bakar campuran hasil olahan minyak pelumas bekas dengan solar pada mesin diesel. Analisa data dari hasil performa meliputi grafik perbandingan SFOC, daya, torsi, BMEP, *effisiensi thermal*, dan temperature gas buang. Proses pengambilan data performa diperoleh dari proses proses eksperimen performa dari motor diesel berbahan bakar DLF 20 dan B 20. Grafik perbandingan daya, torsi serta BMEP dibentuk setelah menentukan titik lembah dalam grafik SFOC terhadap daya dari masing masing titik uji coba campuran bahan bakar. Titik lembah dari grafik yang menunjukkan nilai SFOC terendah pada masing-masing RPM dianggap sebagai nilai *power* motor diesel pada kondisi *full load*.

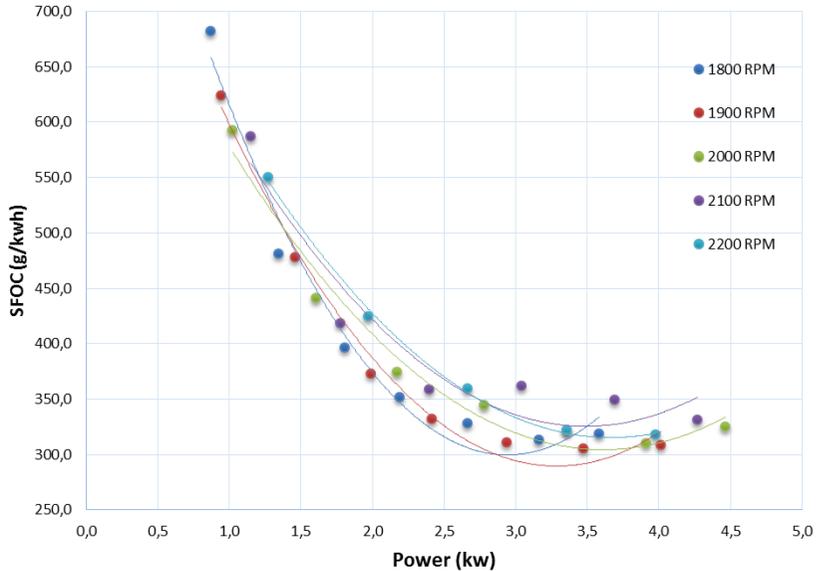
#### 4.2.1 Analisa Performa SFOC dengan Daya



Gambar 4.1 Grafik Perbandingan Power Terhadap SFOC Pada Bahan Bakar DLF 20

Berdasarkan dari gambar 4.1 , didapatkan lengkung SFOC terhadap power pada masing-masing RPM dan beban yang telah ditentukan. Hasil dari pembacaan, menunjukkan Titik SFOC terendah terjadi pada 2000 RPM dengan nilai SFOC sebesar 323,5 gr/kWh. Sementara untuk titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu pada 1800 RPM dengan nilai SFOC 344,5 gr/kWh, 1900 RPM dengan nilai SFOC 324,7 gr/kWh, 2000 RPM dengan nilai SFOC 323,5 gr/kWh, 2100 RPM dengan nilai SFOC 363,8 gr/kWh dan 2200 RPM dengan nilai SFOC 401 gr/kWh. Titik titik SFOC terendah dari titik lembah lengkung masing-masing RPM digunakan untuk menentukan kondisi *full load* mesin. Setelah mencapai titik terendah SFOC, grafik kembali mengalami kenaikan pada pembebanan selanjutnya. Hal ini dapat terjadi karena terjadi kondisi *overload* pada mesin, yaitu kondisi yang terjadi dengan peningkatan konsumsi bahan bakar yang tidak sebanding dengan peningkatan daya yang dihasilkan oleh mesin diesel.

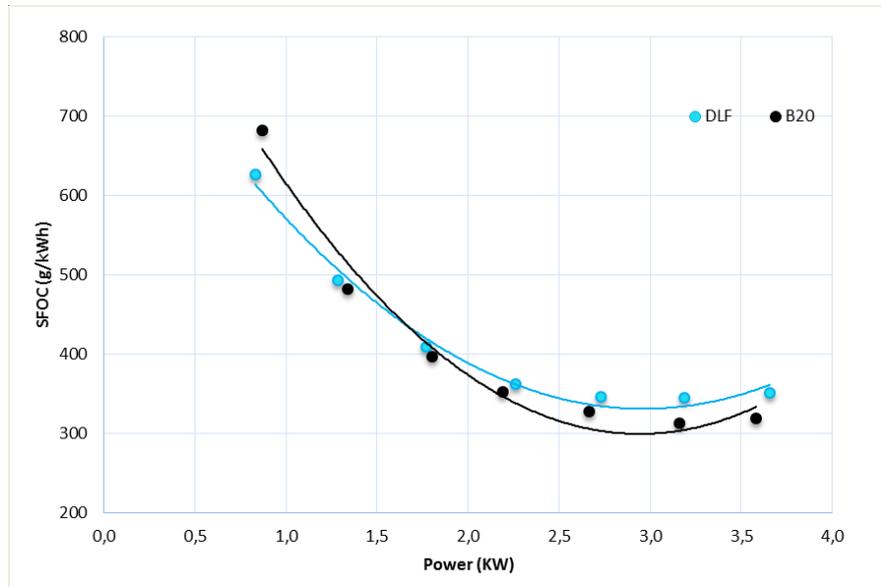
Sedangkan untuk daya yang dihasilkan oleh mesin dapat dilihat bahwa daya terbesar dihasilkan pada beban maksimal untuk setiap putaran engine. Pada putaran 1800 rpm didapatkan daya maksimal sebesar 3,657 kW, pada saat putaran 1900 rpm didapatkan daya maksimal sebesar 4,068 kW, pada saat putaran 2000 rpm didapatkan daya maksimal sebesar 4,513 kW, pada saat putaran 2100 rpm didapatkan daya maksimal sebesar 4,338 kW, sedangkan pada saat putaran 2200 rpm didapatkan daya maksimal sebesar 4,04 kW. Jadi dapat disimpulkan bahwa semakin besar putaran mesin, maka semakin menurun nilai SFOC yang didapatkan, dan semakin besar nilai daya yang dihasilkan.



Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Power Terhadap SFOC Pada Bahan Bakar B 20

Berdasarkan dari gambar 4.2, didapatkan lengkung SFOC terhadap power pada masing-masing RPM dan beban yang telah ditentukan. Hasil dari pembacaan grafik, menunjukkan Titik SFOC terendah terjadi pada 1900 RPM dengan nilai SFOC sebesar 305,1 gr/kWh. Sementara untuk titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu pada 1800 RPM dengan nilai SFOC 313,1 gr/kWh, 1900 RPM dengan nilai SFOC 305,1 gr/kWh, 2000 RPM dengan nilai SFOC 310 gr/kWh, 2100 RPM dengan nilai SFOC 331,1 gr/kWh dan 2200 RPM dengan nilai SFOC 317,5 gr/kWh. Titik titik SFOC terendah dari titik lembah lengkung masing-masing RPM digunakan untuk menentukan kondisi *full load* mesin. Setelah mencapai titik terendah SFOC, grafik kembali mengalami kenaikan pada pembebanan selanjutnya. Hal ini dapat terjadi karena terjadi kondisi *overload* pada mesin, yaitu kondisi yang terjadi dengan peningkatan konsumsi bahan bakar yang tidak sebanding dengan peningkatan daya yang dihasilkan oleh mesin diesel.

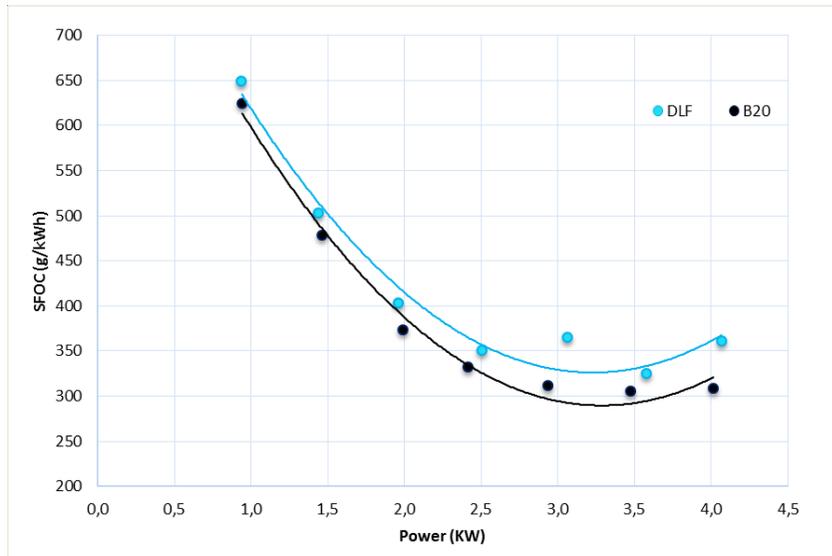
Sedangkan untuk daya yang dihasilkan oleh mesin dapat dilihat bahwa daya terbesar dihasilkan pada beban maksimal untuk setiap putaran engine. Pada putaran 1800 rpm didapatkan daya maksimal sebesar 3,582 kW, pada saat putaran 1900 rpm didapatkan daya maksimal sebesar 4,013 kW, pada saat putaran 2000 rpm didapatkan daya maksimal sebesar 4,464 kW, pada saat putaran 2100 rpm didapatkan daya maksimal sebesar 4,269 kW, sedangkan pada saat putaran 2200 rpm didapatkan daya maksimal sebesar 3,981 kW. Jadi dapat disimpulkan bahwa semakin besar putaran mesin, maka semakin menurun nilai SFOC yang didapatkan, dan semakin besar nilai daya yang dihasilkan.



Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Power Terhadap SFOC Pada Bahan Bakar B 20 dan DLF 20, Pada RPM 1800

Dari grafik perbandingan power terhadap SFOC pada variasi bahan bakar B 20 dan DLF 20 saat 1800 rpm diatas dapat diketahui bahwa nilai SFOC terendah didapat pada bahan bakar B20 Pertamina dengan nilai sebesar 313,1 gr/kWh, sedangkan untuk bahan bakar DLF 20, SFOC terendah hanya sebesar 344,5 gr/kWh. Sedangkan daya yang dihasilkan paling besar dihasilkan oleh penggunaan bahan bakar DLF 20 yaitu sebesar 3,657 kW, nilai ini lebih besar jika dibandingkan dengan daya yang dihasilkan pada kondisi sama pada penggunaan bahan bakar B20 yaitu sebesar 3,582 kW. Dari grafik 4.3 dapat ditarik informasi bahwa konsumsi bahan bakar B20 lebih kecil daripada bahan bakar DLF 20. Akan tetapi, pada kondisi putaran mesin dan pembebanan yang sama, bahan bakar DLF 20 menghasilkan daya yang lebih besar daripada B20.

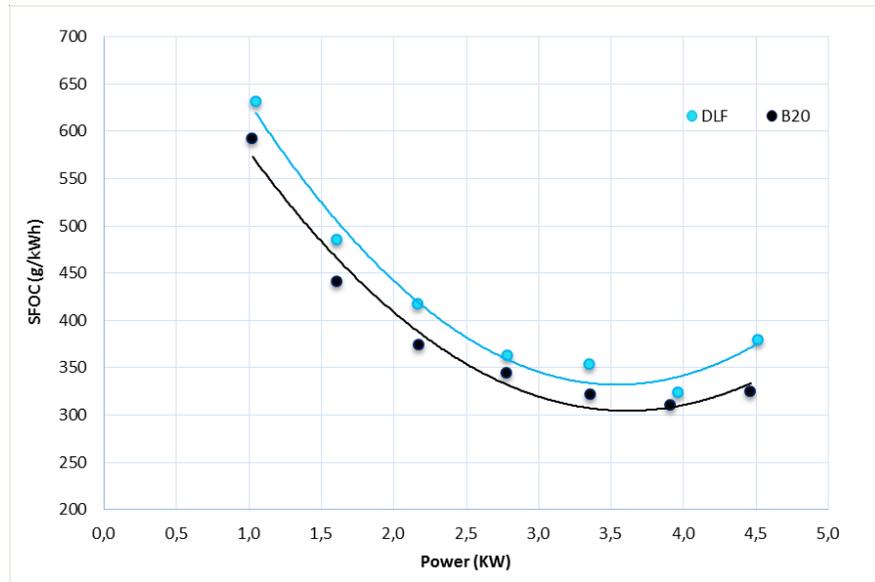
Pada penggunaan bahan bakar DLF 20, Pada kondisi *full load* mesin, power yang dihasilkan sebesar 3,191 kW, sedangkan pada kondisi *overload* mesin, power yang dihasilkan sebesar 3,657 kW. Selisih power yang dihasilkan antara kedua kondisi ini yaitu sebesar 0,466 kW atau mengalami kenaikan sebesar 15%. Sedangkan pada penggunaan bahan bakar B 20, Pada kondisi *full load* mesin, power yang dihasilkan sebesar 3,162 kW, sedangkan pada kondisi *overload* mesin, power yang dihasilkan sebesar 3,582 kW. Selisih power yang dihasilkan antara kedua kondisi ini yaitu sebesar 0,419 kW atau mengalami kenaikan sebesar 13%.



Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Power Terhadap SFOC Pada Bahan Bakar B 20 dan DLF 20, Pada RPM 1900

Dari grafik perbandingan power terhadap SFOC pada variasi bahan bakar B 20 dan DLF 20 saat 1900 rpm diatas dapat diketahui bahwa nilai SFOC terendah didapat pada bahan bakar B20 Pertamina dengan nilai sebesar 305,1 gr/kWh, sedangkan untuk bahan bakar DLF 20, SFOC terendah hanya sebesar 324,7 gr/kWh. Sedangkan daya yang dihasilkan paling besar dihasilkan oleh penggunaan bahan bakar DLF 20 yaitu sebesar 4,068 kW, nilai ini lebih besar jika dibandingkan dengan daya yang dihasilkan pada kondisi sama pada penggunaan bahan bakar B20 yaitu sebesar 4,013 kW. Dari grafik 4.4 dapat ditarik informasi bahwa konsumsi bahan bakar B20 lebih kecil daripada bahan bakar DLF 20. Akan tetapi, pada kondisi putaran mesin dan pembebanan yang sama, bahan bakar DLF 20 menghasilkan daya yang lebih besar daripada B20

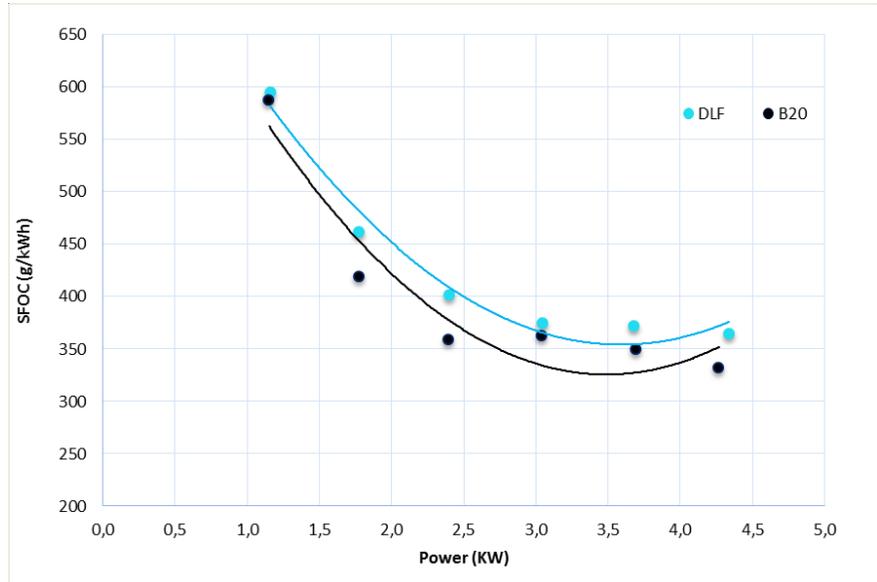
Pada penggunaan bahan bakar DLF 20, Pada kondisi *full load* mesin, power yang dihasilkan sebesar 3,577 kW, sedangkan pada kondisi *overload* mesin, power yang dihasilkan sebesar 4,068 kW. Selisih power yang dihasilkan antara kedua kondisi ini yaitu sebesar 0,491 kW atau mengalami kenaikan sebesar 14%. Sedangkan pada penggunaan bahan bakar B 20, Pada kondisi *full load* mesin, power yang dihasilkan sebesar 3,477 kW, sedangkan pada kondisi *overload* mesin, power yang dihasilkan sebesar 4,013 kW. Selisih power yang dihasilkan antara kedua kondisi ini yaitu sebesar 0,419 kW atau mengalami kenaikan sebesar 15%.



Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Power Terhadap SFOC Pada Bahan Bakar B 20 dan DLF 20, Pada RPM 2000

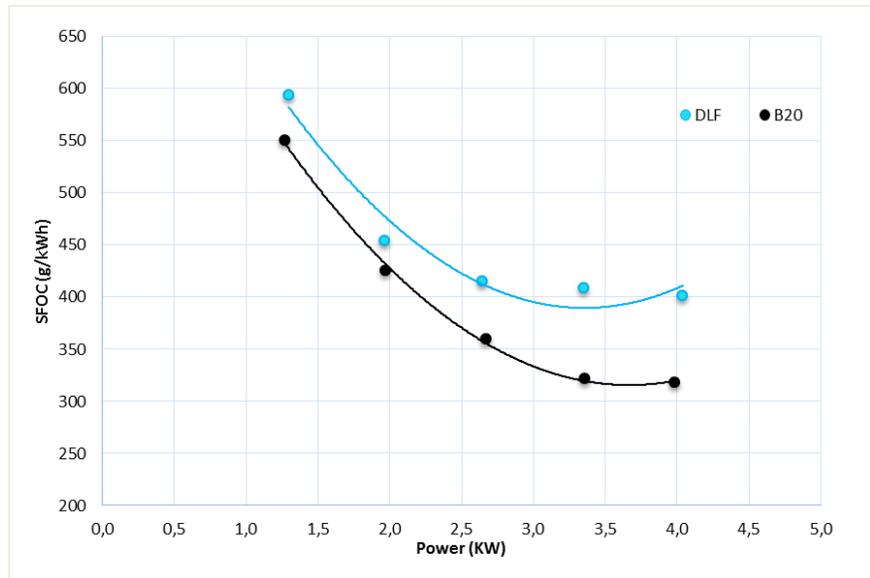
Dari grafik perbandingan power terhadap SFOC pada variasi bahan bakar B 20 dan DLF 20 saat 2000 rpm diatas dapat diketahui bahwa nilai SFOC terendah didapat pada bahan bakar B20 Pertamina dengan nilai sebesar 310,0 gr/kWh, sedangkan untuk bahan bakar DLF 20, SFOC terendah hanya sebesar 323,5 gr/kWh. Sedangkan daya yang dihasilkan paling besar dihasilkan oleh penggunaan bahan bakar DLF 20 yaitu sebesar 4,513 kW, nilai ini lebih besar jika dibandingkan dengan daya yang dihasilkan pada kondisi sama pada penggunaan bahan bakar B20 yaitu sebesar 4,464 kW. Dari grafik 4.5 dapat ditarik informasi bahwa konsumsi bahan bakar B20 lebih kecil daripada bahan bakar DLF 20. Akan tetapi, pada kondisi putaran mesin dan pembebanan yang sama, bahan bakar DLF 20 menghasilkan daya yang lebih besar daripada B20

Pada penggunaan bahan bakar DLF 20, Pada kondisi *full load* mesin, power yang dihasilkan sebesar 3,964 kW, sedangkan pada kondisi *overload* mesin, power yang dihasilkan sebesar 4,513 kW. Selisih power yang dihasilkan antara kedua kondisi ini yaitu sebesar 0,549 kW atau mengalami kenaikan sebesar 14%. Sedangkan pada penggunaan bahan bakar B 20, Pada kondisi *full load* mesin, power yang dihasilkan sebesar 3,910 kW, sedangkan pada kondisi *overload* mesin, power yang dihasilkan sebesar 4,464 kW. Selisih power yang dihasilkan antara kedua kondisi ini yaitu sebesar 0,553 kW atau mengalami kenaikan sebesar 14%.



Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Power Terhadap SFOC Pada Bahan Bakar B 20 dan DLF 20, Pada RPM 2100

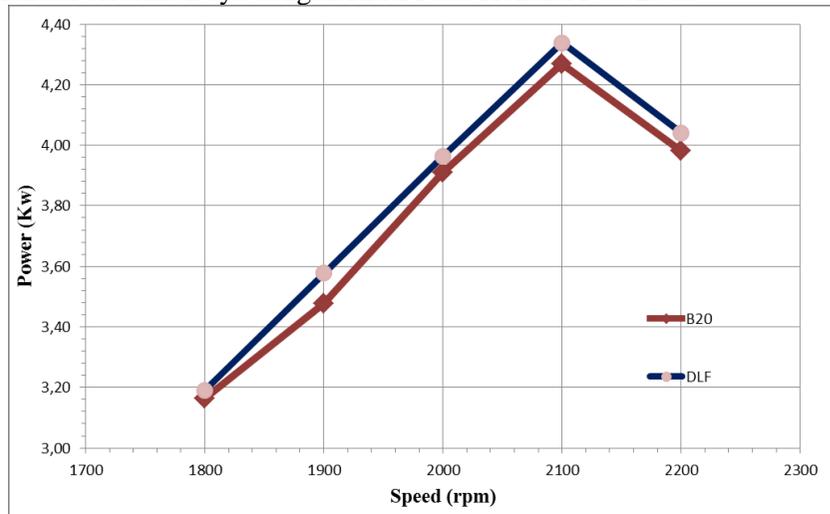
Dari grafik perbandingan power terhadap SFOC pada variasi bahan bakar B 20 dan DLF 20 saat 2100 rpm diatas dapat diketahui bahwa nilai SFOC terendah didapat pada bahan bakar B20 Pertamina dengan nilai sebesar 331,312 gr/kWh, untuk bahan bakar DLF 20, SFOC terendah hanya sebesar 363,8 gr/kWh. Sedangkan daya yang dihasilkan paling besar dihasilkan oleh penggunaan bahan bakar DLF 20 yaitu sebesar 4,338 kW, nilai ini lebih besar jika dibandingkan dengan daya yang dihasilkan pada kondisi sama pada penggunaan bahan bakar B20 yaitu sebesar 4,269 kW. Dari grafik 4.6 dapat ditarik informasi bahwa konsumsi bahan bakar B20 lebih kecil daripada bahan bakar DLF 20. Akan tetapi, pada kondisi putaran mesin dan pembebanan yang sama, bahan bakar DLF 20 menghasilkan daya yang lebih besar daripada B20



Gambar 4.7 Grafik perbandingan Power Terhadap SFOC Pada Bahan Bakar B 20 dan DLF 20, Pada RPM 2200

Dari grafik Perbandingan power terhadap SFOC pada variasi bahan bakar B 20 dan DLF 20 saat 2200 rpm diatas dapat diketahui bahwa nilai SFOC terendah didapat pada bahan bakar B20 Pertamina dengan nilai sebesar 317,5 gr/kWh, untuk bahan bakar DLF 20, SFOC terendah hanya sebesar 401 gr/kWh. Sedangkan daya yang dihasilkan paling besar dihasilkan oleh penggunaan bahan bakar DLF 20 yaitu sebesar 4,04 kW, nilai ini lebih besar jika dibandingkan dengan daya yang dihasilkan pada kondisi sama pada penggunaan bahan bakar B20 yaitu sebesar 3,981 kW. Dari grafik 4.7 dapat ditarik informasi bahwa konsumsi bahan bakar B20 lebih kecil daripada bahan bakar DLF 20. Akan tetapi, pada kondisi putaran mesin dan pembebanan yang sama, bahan bakar DLF 20 menghasilkan daya yang lebih besar daripada B20

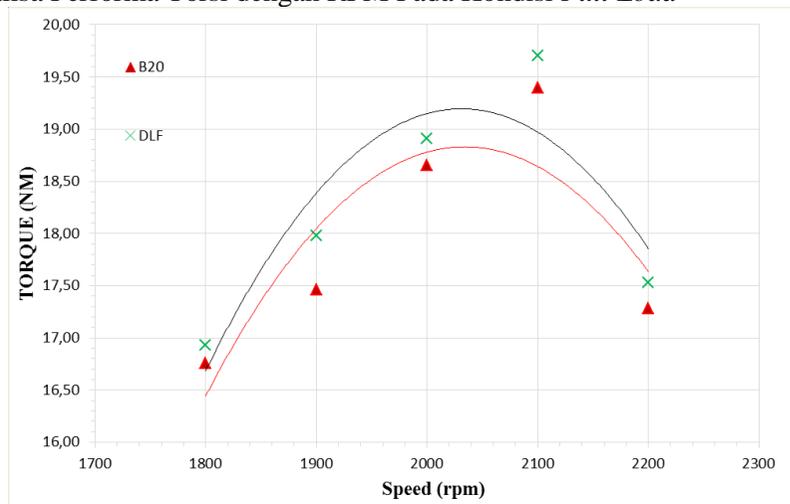
#### 4.2.2 Analisa Performa Daya dengan RPM Pada Kondisi *Full Load*



Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Daya Terhadap RPM Pada Kondisi *Full Load* Dengan Variabel Bahan Bakar DLF 20 dan B 20

Gambar 4.8 merupakan grafik performansi perbandingan *power* terhadap RPM pada variable campuran bahan bakar DLF 20 dan B20. Gambar 4.8 merupakan nilai dari 100% *power* yang didapatkan dari nilai terendah *SFOC* disetiap RPM pada grafik perbandingan antara *SFOC* terhadap *power* dari masing masing variabel campuran bahan bakar. Hasil dari pembacaan dan pengamatan gambar 4.8, terlihat bahwa kedua jenis variasi bahan bakar ini memiliki hasil daya terbesar pada RPM 2100 beban 100% masing masing bahan bakar yaitu DLF 20 sebesar 4,34 kW dan untuk bahan bakar B 20 sebesar 4,27 kW. Sedangkan pada putaran mesin 2200 rpm, kedua jenis bahan bakar, baik DLF 20 maupun B20 mengalami penurunan nilai daya, yaitu menjadi sebesar 4,04 kW untuk bahan bakar DLF 20 dan 3,98 kW untuk bahan bakar B 20. Data ini menunjukkan bahwa pada kondisi putaran mesin maksimal, yaitu sebesar 2200 rpm, mesin mengalami kondisi *overload*. Dari pengamatan grafik secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa pada rpm mesin 2100 dan kondisi pembebanan *full load*, bahan bakar DLF 20 menghasilkan daya yang lebih besar daripada bahan bakar B 20.

#### 4.2.3 Analisa Performa Torsi dengan RPM Pada Kondisi *Full Load*

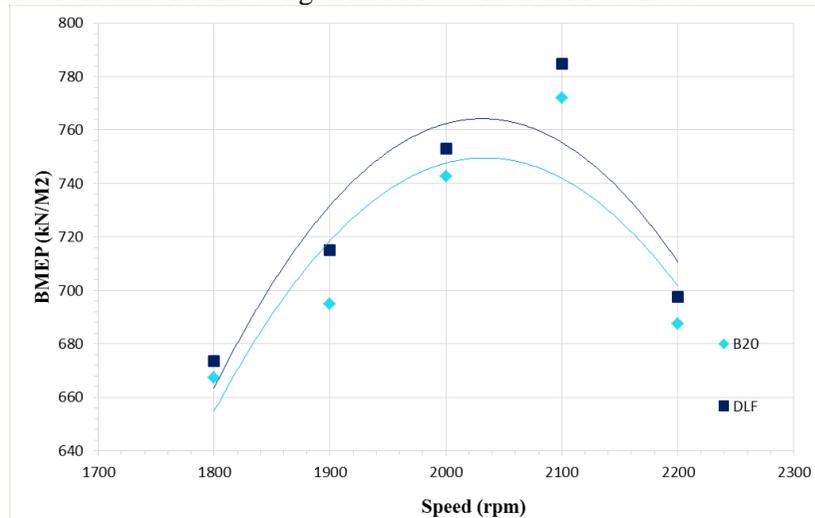


Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Torsi Terhadap RPM Pada Kondisi *Full Load* Dengan Variabel Bahan Bakar DLF 20 dan B 20

Gambar 4.9 merupakan grafik performansi perbandingan torsi terhadap RPM pada variable campuran bahan bakar DLF 20 dan B20. Gambar 4.9 merupakan nilai dari 100% *power* yang didapatkan dari nilai terendah *SFOC* disetiap RPM pada grafik perbandingan antara *SFOC* terhadap *power* dari masing masing variabel campuran bahan bakar. Hasil dari pembacaan dan pengamatan gambar 4.9, terlihat bahwa kedua jenis variasi bahan bakar ini memiliki hasil torsi terbesar pada RPM 2100 beban 100% masing masing bahan bakar yaitu DLF 20 sebesar 19,70 Nm dan untuk bahan bakar B 20 sebesar 19,39 Nm. Sedangkan pada putaran mesin 2200 rpm, kedua jenis bahan bakar, baik DLF 20 maupun B20 mengalami penurunan nilai torsi, yaitu menjadi sebesar 17,53 Nm untuk bahan bakar DLF 20 dan 17,28 Nm untuk bahan bakar B 20. Data ini menunjukkan bahwa pada kondisi putaran mesin maksimal, yaitu sebesar 2200 rpm, mesin mengalami kondisi *overload*.

Dari pengamatan grafik secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa pada rpm mesin 2100 dan kondisi pembebanan *full load*, bahan bakar DLF 20 menghasilkan torsi yang lebih besar daripada bahan bakar B 20. Pada kedua bahan bakar yang digunakan, dapat dilihat terdapat tren menurun pada saat putaran mesin 2200 rpm, hal ini dapat terjadi dikarenakan torsi yang merupakan fungsi dari pembagian antara daya dengan kecepatan sudut, sehingga pada titik tertentu konversi daya yang terjadi dari hasil proses pembakaran terkonversi lebih banyak pada putaran. Dan ketika mesin mendapatkan beban yang berat, konversi ini lebih terkonsentrasi pada torsi. Ini berarti daya yang dihasilkan kedua bahan bakar, baik DLF 20 maupun B 20 tidak menghasilkan daya gerak piston yang cukup besar untuk tetap mempertahankan torsi disaat kenaikan putaran.

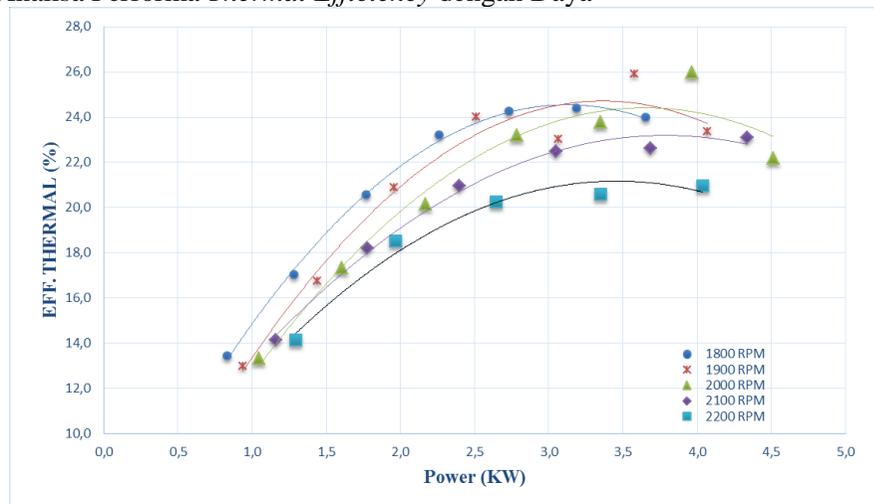
#### 4.2.4 Analisa Performa BMEP dengan RPM Pada Kondisi *Full Load*



Gambar 4.10 Grafik Perbandingan BMEP Terhadap RPM Pada Kondisi *Full Load* Dengan Variabel Bahan Bakar DLF 20 dan B 20

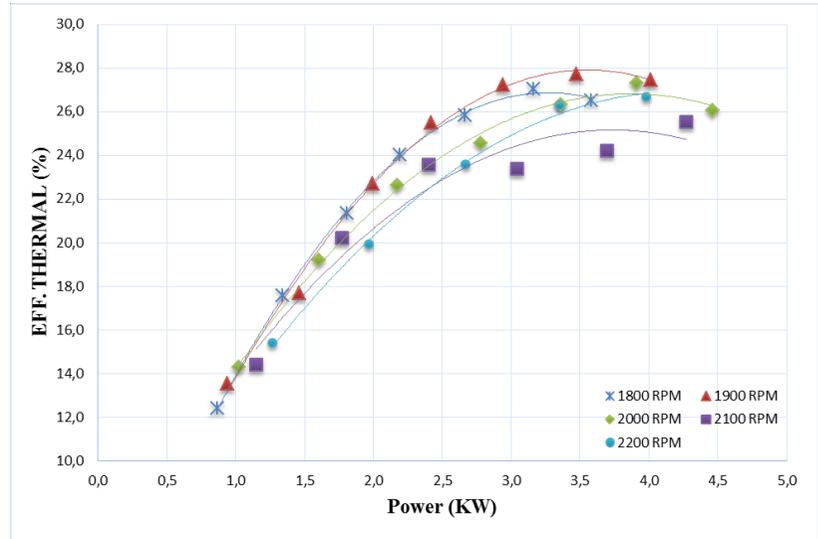
Gambar 4.10 merupakan grafik performansi perbandingan BMEP terhadap RPM pada variable campuran bahan bakar DLF 20 dan B20. Gambar 4.10 merupakan nilai dari 100% *power* yang didapatkan dari nilai terendah *SFOC* disetiap RPM pada grafik perbandingan antara *SFOC* terhadap *power* dari masing masing variabel campuran bahan bakar. Hasil dari pembacaan dan pengamatan gambar 4.10, terlihat bahwa kedua jenis variasi bahan bakar ini memiliki hasil BMEP terbesar pada RPM 2100 beban 100% masing masing bahan bakar yaitu DLF 20 sebesar 784708,2 N/m<sup>2</sup> dan untuk bahan bakar B 20 sebesar 772113,8 N/m<sup>2</sup>. Sedangkan pada putaran mesin 2200 rpm, kedua jenis bahan bakar, baik DLF 20 maupun B20 mengalami penurunan nilai BMEP, yaitu menjadi sebesar 697580,5 N/m<sup>2</sup> untuk bahan bakar DLF 20 dan 687356,8 N/m<sup>2</sup> untuk bahan bakar B 20. Data ini menunjukkan bahwa pada kondisi putaran mesin maksimal, yaitu sebesar 2200 rpm, mesin mengalami kondisi *overload*. Dari pengamatan grafik secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa pada rpm mesin 2100 dan kondisi pembebanan *full load*, bahan bakar DLF 20 menghasilkan BMEP yang lebih besar daripada bahan bakar B 20.

#### 4.2.5 Analisa Performa *Thermal Efficiency* dengan Daya



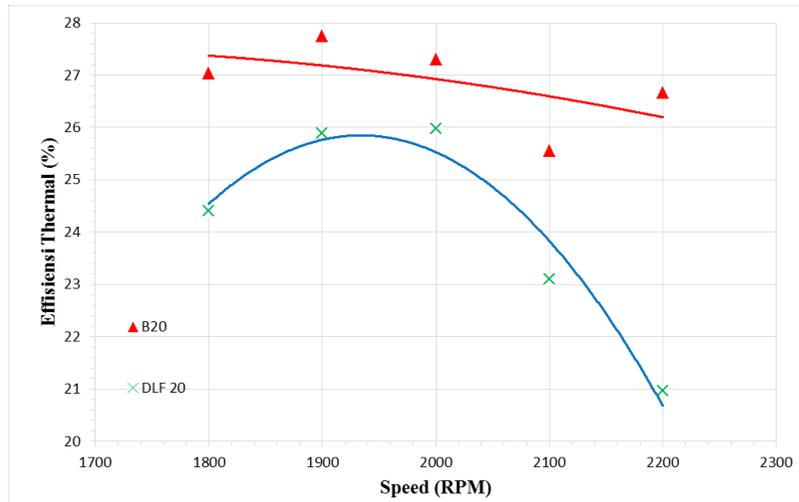
Gambar 4.11 Grafik Perbandingan *Thermal Efficiency* terhadap power pada bahan bakar DLF 20

Berdasarkan gambar 4.11, nilai efisiensi thermal terendah berada pada saat putaran mesin 1900 rpm, yaitu sebesar 12,96%. Sedangkan efisiensi thermal tertinggi berada pada saat putaran mesin 2000 rpm, yaitu sebesar 25,98%. Pada putaran mesin yang sama, efisiensi thermal paling tinggi berada pada kondisi *full load*, yaitu ketika SFOC berada pada nilai terendah dan power yang dihasilkan paling besar. Sedangkan pada kondisi *overload*, nilai efisiensi thermal menurun, meskipun power yang dihasilkan tetap meningkat. Hal ini berbanding lurus dengan fenomena yang terjadi pada grafik SFOC terhadap Power pada penggunaan bahan bakar DLF 20. Ini menunjukkan pada kondisi *overload*, jumlah bahan bakar yang dikeluarkan untuk diubah menjadi power tidak lagi efektif. Dengan demikian jumlah bahan bakar yang dikeluarkan lebih banyak.



Gambar 4.12 Perbandingan *Thermal Efficiency* terhadap power pada bahan bakar B20

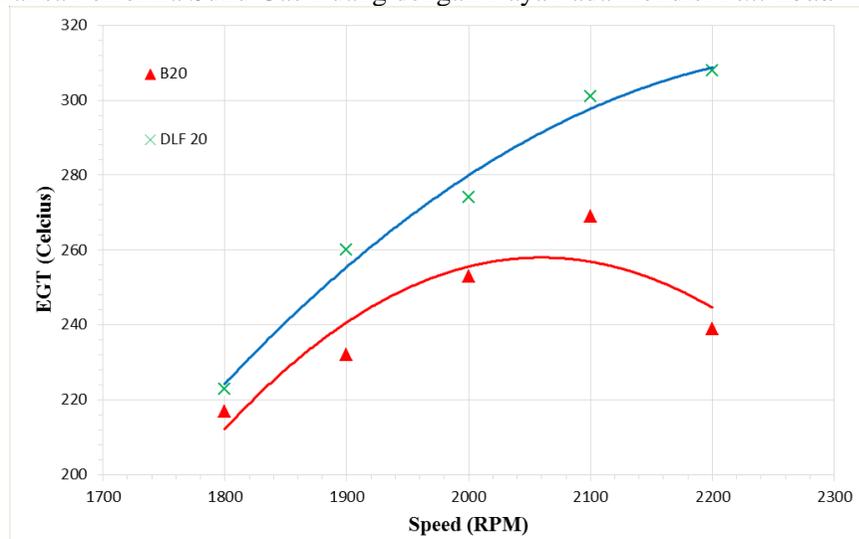
Berdasarkan gambar 4.12, nilai efisiensi thermal terendah berada pada saat putaran mesin 1800 rpm, yaitu sebesar 12,40%. Sedangkan efisiensi thermal tertinggi berada pada saat putaran mesin 1900 rpm, yaitu sebesar 27,73%. Pada putaran mesin yang sama, efisiensi thermal paling tinggi berada pada kondisi *full load*, yaitu ketika SFOC berada pada nilai terendah dan power yang dihasilkan paling besar. Sedangkan pada kondisi *overload*, nilai efisiensi thermal menurun, meskipun power yang dihasilkan tetap meningkat. Hal ini berbanding lurus dengan fenomena yang terjadi pada grafik SFOC terhadap Power pada penggunaan bahan bakar B 20. Ini menunjukkan pada kondisi *overload*, jumlah bahan bakar yang dikeluarkan untuk diubah menjadi power tidak lagi efektif. Dengan demikian jumlah bahan bakar yang dikeluarkan lebih banyak.



Gambar 4.13 Grafik Perbandingan Thermal Efficiency terhadap RPM pada kondisi *Full Load* dengan variasi bahan bakar DLF 20 dan B20

Dari gambar 4.13 dapat diketahui bahwa pada kondisi *full load* tiap putaran mesin bahan bakar DLF 20 memiliki nilai efisiensi thermal lebih rendah daripada bahan bakar B 20. Hal ini dapat menjelaskan penyebab power yang dihasilkan oleh bahan bakar DLF 20 lebih besar daripada bahan bakar B 20, akan tetapi jumlah bahan bakar yang dikonsumsi (SFOC) oleh DLF 20 lebih besar daripada bahan bakar B 20.

#### 4.2.6 Analisa Performa Suhu Gas Buang dengan Daya Pada Kondisi *Full Load*



Gambar 4.14 Grafik Perbandingan Suhu Gas Buang terhadap RPM pada kondisi *Full Load* dengan variasi bahan bakar DLF 20 dan B20

Dari gambar 4.14 dapat diketahui bahwa pada penggunaan bahan bakar DLF 20, suhu gas buang yang dihasilkan terus mengalami peningkatan seiringnya meningkatnya putaran mesin. Sedangkan pada penggunaan bahan bakar B 20, suhu gas buang yang dihasilkan mengalami peningkatan dan pada putaran mesin 2200 rpm mengalami penurunan suhu gas buang. Jika dibandingkan pada putaran mesin yang sama, penggunaan bahan bakar DLF 20 menghasilkan suhu gas buang yang lebih tinggi daripada bahan bakar B 20. Hal ini menjelaskan fenomena yang sebelumnya terjadi pada gambar 4.13 mengenai efisiensi thermal. Nilai konsumsi bahan bakar (SFOC) DLF 20 memiliki nilai besar dan tidak sebanding dengan power yang dihasilkan dikarenakan bahan bakar DLF 20 memiliki nilai efisiensi thermal yang lebih rendah, dan suhu gas buang yang lebih tinggi. Ini berarti, energi hasil pembakaran bahan bakar DLF 20 ini lebih banyak yang terbuang lewat gas buang daripada yang dikonversi menjadi power mesin.

#### 4.3 Emisi Motor Diesel Berbahan Bakar DLF 20 dan B 20

Pengujian emisi NO<sub>x</sub> yang dilakukan dengan menggunakan gas analyzer ECOM untuk mendapatkan nilai hasil emisi. Pada penelitian kali ini, bahan bakar yang digunakan ada dua jenis, yaitu bahan bakar DLF 20 dan Biosolar 20. Sedangkan untuk standard pengujian yang dilakukan, mengacu pada IMO Test Cycle E2, yaitu dengan pengkondisian rpm 100% dan variasi pembebanan 100%, 75%, 50%, dan 25%.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Emisi Dengan *Gas Analyzer*

Bahan Bakar	Power	Uji Emisi								
		O <sub>2</sub>	NO	SO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	Eff Ther	Losses	Exc. Air	EGT
		%	ppm	ppm	ppm	%	%	%	%	F
DLF 20	25%	19,6	55	0	0	0,8	48,3	51,7	15,00	249
	50%	19,2	99	0	0	1,0	48,0	52,0	11,67	296
	75%	19,2	130	0	0	1,0	40,5	59,5	11,67	332
	100%	19,5	121	0	0	0,8	17,6	82,4	14,00	386
Bahan Bakar	Power	Uji Emisi								
		O <sub>2</sub>	NO	SO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	Eff Ther	Losses	Exc. Air	EGT
		%	ppm	ppm	ppm	%	%	%	%	F
B 20	25%	19,3	87	0	0	0,9	61,2	38,8	12,35	229
	50%	18,7	130	0	0	1,3	60,7	39,3	9,13	279
	75%	19,3	103	0	0	0,9	44,3	55,7	12,35	308
	100%	19	131	0	0	1,1	46,1	53,9	10,50	335

Pada tabel diatas, menyajikan data hasil keluaran dari *gas analyzer* dengan satuan ppm untuk NO. Agar analisa dapat dilakukan, maka emisi NO tersebut harus dikonversi menjadi NO<sub>x</sub>. Nilai NO<sub>x</sub> diperoleh dari penjumlahan NO dengan NO<sub>2</sub>. Pada mesin diesel, NO<sub>2</sub> bernilai 10 sampai 30 persen dari total emisi NO. (Heywood, 1988). Oleh karena itu, didapatkan nilai NO<sub>x</sub> sebagai berikut :

Tabel 4.6 Nilai Emisi NOx (ppm)

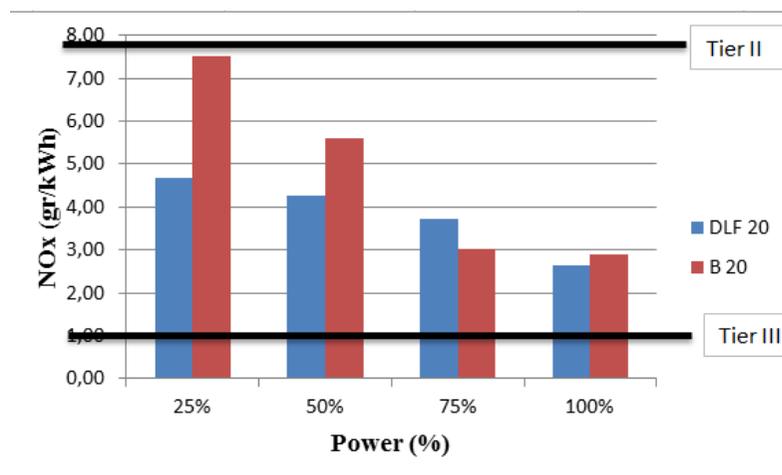
Emisi NOx (ppm)		
Power	DLF 20	B 20
25%	71,5	113,1
50%	128,7	169
75%	169	133,9
100%	157,3	170,3

Setelah didapatkan nilai emisi NOx, selanjutnya dilakukan konversi satuan dari ppm menjadi g/kWh, hal ini dikarenakan pada standard IMO Marpol Annex VI maupun Euro satuan yang digunakan adalah gr/kWh (Pilusa, T, J.). Setelah dilakukan konversi, didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 4.7 Hasil Konversi Emisi NOx (gr/kWh)

Emisi NOx (g/kWh)		
Power	DLF 20	B 20
25%	4,67	7,50
50%	4,26	5,61
75%	3,72	3,01
100%	2,65	2,90

Berdasarkan dari tabel 4.6 disajikan data hasil perbandingan kadar emisi NOx yang dihasilkan oleh tiap bahan bakar, pada variasi beban yang diberikan.



Gambar 4.15 Analisa Perbandingan Emisi NOx Dari Bahan Bakar DLF20 dan B20

Berdasarkan gambar 4.15 karakteristik emisi hasil pembakaran bahan bakar yang dihasilkan dari campuran antara solar dengan hasil olahan minyak pelumas

bekas (DLF 20) memiliki kadar emisi NO<sub>x</sub> tertinggi pada saat daya mesin 25%, yaitu memiliki nilai emisi NO<sub>x</sub> sebesar 4,67 g/kWh. Sedangkan titik terendah dari kadar emisi NO<sub>x</sub> yang dihasilkan oleh bahan bakar DLF 20 terletak pada saat daya mesin 100%, yaitu memiliki nilai emisi NO<sub>x</sub> sebesar 2,65 g/kWh. Pada bahan bakar Biosolar 20, karakteristik emisi hasil pembakaran menunjukkan bahwa bahan bakar B20 ini memiliki kadar emisi NO<sub>x</sub> tertinggi pada saat daya mesin 25% yaitu memiliki nilai emisi NO<sub>x</sub> sebesar 7,5 g/kWh. Sedangkan titik terendahnya berada pada saat daya mesin 100%, yaitu memiliki nilai emisi NO<sub>x</sub> sebesar 2,9 g/kWh. Tingginya emisi NO<sub>x</sub> ini dipengaruhi oleh tingginya temperatur gas buang dan tingginya kadar oksigen pada udara sekitar, akan tetapi jika bahan bakar yang digunakan mengandung kadar nitrogen yang cukup banyak, maka kadar emisi NO<sub>x</sub> yang dihasilkan juga akan meningkat (Heywood, 1988).

Pada saat daya 25%, nilai emisi NO<sub>x</sub> tertinggi dihasilkan oleh bahan bakar B20 yaitu sebesar 7,5 g/kWh, sedangkan nilai emisi NO<sub>x</sub> yang dihasilkan oleh bahan bakar DLF 20 memiliki nilai yang lebih kecil yaitu sebesar 4,67 g/kWh. Adapun selisih nilai emisi yang dihasilkan kedua bahan bakar ini yaitu sebesar 2,83 g/kWh. Pada analisa sebelumnya disebutkan bahwa tingginya emisi NO<sub>x</sub> dipengaruhi oleh tingginya temperatur gas buang dan tingginya kadar oksigen pada udara sekitar. Akan tetapi, pada hasil pembacaan *gas analyzer* menunjukkan bahwa temperatur gas buang yang dimiliki oleh bahan bakar DLF 20 lebih tinggi daripada temperatur gas buang yang dihasilkan oleh bahan bakar B20. Fenomena ini dapat terjadi, dikarenakan kemungkinan lebih rendahnya kandungan nitrogen pada bahan bakar DLF 20.

Pada saat daya 50% dan 100% menunjukkan fenomena yang sama. Pada saat daya 50%, nilai emisi NO<sub>x</sub> tertinggi dihasilkan oleh bahan bakar B20 yaitu sebesar 5,61 g/kWh, sedangkan nilai emisi NO<sub>x</sub> yang dihasilkan oleh bahan bakar DLF 20 memiliki nilai yang lebih kecil yaitu sebesar 4,26 g/kWh. Adapun selisih nilai emisi yang dihasilkan kedua bahan bakar ini yaitu sebesar 1,35 g/kWh. Selanjutnya, Pada saat daya 100%, nilai emisi NO<sub>x</sub> tertinggi dihasilkan oleh bahan bakar B20 yaitu sebesar 2,9 g/kWh, sedangkan nilai emisi NO<sub>x</sub> yang dihasilkan oleh bahan bakar DLF 20 memiliki nilai yang lebih kecil yaitu sebesar 2,65 g/kWh. Adapun selisih nilai emisi yang dihasilkan kedua bahan bakar ini yaitu sebesar 0,25 g/kWh.

Berdasarkan gambar 4.15, diperoleh data bahwa emisi NO<sub>x</sub> yang dihasilkan oleh kedua bahan bakar, baik DLF 20 maupun B 20 pada semua variasi daya 100%, 75%, 50%, dan 25% tidak ada yang memenuhi batas standar TIER III yang ditetapkan oleh IMO. Akan tetapi, kedua bahan bakar ini tidak melebihi batas yang ditetapkan oleh standar IMO TIER II .

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil perhitungan dan analisa yang telah dilakukan terkait pengaruh penggunaan bahan bakar motor diesel hasil daur ulang minyak pelumas bekas terhadap performa mesin dan hasil emisi NO<sub>x</sub>, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Secara properties, bahan bakar DLF 20 memiliki nilai *cetane number* sebesar 68,3 yang lebih baik daripada bahan bakar B20 dengan *cetane number* sebesar 51. Dari segi *low heating value*, bahan bakar DLF 20 memiliki nilai 42826 kJ/kg, lebih baik daripada bahan bakar B20 yang memiliki LHV sebesar 42537 kJ/kg. Pada properties densitas dan viskositas, bahan bakar DLF 20 memiliki nilai yang memenuhi syarat untuk dijadikan sebagai bahan bakar. Sedangkan dari segi properties *flash point* dan *pour point*, bahan bakar DLF 20 memiliki nilai yang lebih rendah daripada bahan bakar B20. Dengan nilai sebesar 86 °C untuk *flash point* dan -7 °C untuk *pour point* pada bahan bakar DLF 20, berbanding 100 °C untuk *flash point* dan 18 °C untuk *pour point* pada bahan bakar B20.
2. Dari segi performa mesin diesel, bahan bakar DLF 20 memiliki nilai konsumsi bahan bakar, atau SFOC yang lebih tinggi daripada bahan bakar B20 dengan selisih rata rata sebesar 10% pada kondisi full load tiap putaran mesin. Hal ini dikarenakan tingginya suhu gas buang dan lebih rendahnya nilai efisiensi thermal yang dimiliki bahan bakar DLF 20. Akan tetapi, untuk daya yang dihasilkan pada putaran mesin dan beban yang sama, bahan bakar DLF 20 menghasilkan daya yang lebih tinggi. Sedangkan dari segi torsi dan BMEP pada kondisi *full load* maupun kondisi *overload*, bahan bakar DLF 20 menunjukkan hasil yang lebih baik daripada bahan bakar B20. Dengan nilai selisih torsi sebesar 0,31 Nm dan selisih BMEP sebesar 12,595 kN/m<sup>2</sup> pada kondisi full load, putaran 2100 rpm.
3. Penggunaan bahan bakar dari olahan minyak pelumas bekas pada mesin diesel menunjukkan kadar emisi NO<sub>x</sub> yang lebih rendah daripada bahan bakar B20 pada power mesin 100%, 50%, dan 25%, dengan selisih nilai emisi NO<sub>x</sub> sebesar 2,83 g/kWh pada power mesin 100%. Akan tetapi, pada kondisi power mesin 75%, kadar emisi NO<sub>x</sub> yang dihasilkan oleh DLF 20 memiliki nilai yang lebih tinggi sebesar 0,71 g/kWh daripada bahan bakar B20.

#### 5.2 Saran

Berdasarkan dari analisa dan seluruh proses yang telah dilakukan dalam melakukan analisa terkait pengaruh penggunaan bahan bakar motor diesel hasil daur ulang minyak pelumas bekas terhadap performa mesin dan hasil emisi NO<sub>x</sub>, terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan :

1. Lebih rendahnya nilai flash point yang dimiliki oleh bahan bakar hasil daur ulang minyak pelumas bekas berpengaruh terhadap lebih tingginya

karakteristik konsumsi bahan bakar daripada B20. Peningkatan untuk nilai flash point bisa menjadi pertimbangan penelitian selanjutnya

2. Mengingat pada kondisi RPM dan power yang sama, meskipun suhu gas buang bahan bakar DLF 20 menghasilkan suhu yang lebih tinggi daripada bahan bakar B20, akan tetapi bahan bakar DLF 20 menghasilkan lebih sedikit emisi NOx. Maka perlu dilakukan pengujian kandungan nitrogen pada bahan bakar DLF 20.

”

## Daftar Pustaka

- Australian Academy of Technological Sciences and Engineering, Australia, Department of the Environment and Heritage, Australian Academy of Technological Sciences and Engineering, 2004. Independent review of the transitional assistance element of the Product Stewardship for Oil (PSO) program. Dept. of the Environment and Heritage, Canberra.
- Beg, R.A., Sarker, M.R.I., Pervez, R., n.d, 2010. Production Of Diesel Fuel From Used Engine Oil 10, 7.
- Chen, X., Wang, Z., Pan, S., Pan, H., 2019. Improvement of engine performance and emissions by biomass oil filter in diesel engine. *Fuel* 235, 603–609.
- Cipta, H., n.d, 2010. Pengaruh Pelarut Phenol Pada Reklamasi Minyak Pelumas Bekas 44.
- Gabiña, G., Martin, L., Basurko, O.C., Clemente, M., Aldekoa, S., Uriondo, Z., 2019. Performance of marine diesel engine in propulsion mode with a waste oil-based alternative fuel. *Fuel* 235, 259–268.
- Gabiña, G., Martin, L., Basurko, O.C., Clemente, M., Aldekoa, S., Uriondo, Z., 2016. Waste oil-based alternative fuels for marine diesel engines. *Fuel Process. Technol.* 153, 28–36.
- Hamawand, I., Yusaf, T., Rafat, S., 2013. Recycling of Waste Engine Oils Using a New Washing Agent. *Energies* 6, 1023–1049.
- Heywood, J.B., 1988. Internal combustion engine fundamentals, McGraw-Hill series in mechanical engineering. McGraw-Hill, New York.
- Holloway, M., n.d, 2014. The Oil Analysis Handbook 35.
- Islam, M.N., Nahian, M.R., 2016. Improvement of Waste Tire Pyrolysis Oil and Performance Test with Diesel in CI Engine. *J. Renew. Energy* 2016, 1–8.
- Kalam, M.A., Masjuki, H.H., Cho, H.M., Mosarof, M.H., Mahmud, Md.I., Chowdhury, M.A., Zulkifli, N.W.M., 2017. Influences of thermal stability, and lubrication performance of biodegradable oil as an engine oil for improving the efficiency of heavy duty diesel engine. *Fuel* 196, 36–46.
- Kanna, D.A.R., n.d, 2017. Experimental Analysis of Flash Point of Lubricating oil 3.
- Mara, M., Kurniawan, A., 2015. ANALISA PEMURNIAN MINYAK PELUMAS BEKAS DENGAN METODE ACID AND CLAY. *Din. Tek. Mesin* 5.
- Mekonnen, H.A., n.d, 2014. Recycling of Used Lubricating Oil Using Acid-Clay Treatment Process 80.
- Naima, K., Liazid, A., n.d, 2013. Waste oils as alternative fuel for diesel engine: A review 14.
- Nasim, M.N., Pervez, M.S., Yarasu, R.B., Lotia, N.V., n.d, 2014. Recycling waste automotive engine oil as alternative fuel for diesel engine: A Review. *IOSR J. Mech. Civ. Eng.* 5.
- Oladimeji, T.E, n.d, 2018. A REVIEW ON TREATMENT METHODS OF USED LUBRICATING OIL 10.
- Patel, M.J., Patel, T.M., Rathod, G.R., n.d, 2015. Performance Analysis of C.I. Engine Using Diesel and Waste Cooking Oil Blend 7.

- Petder, 2011. Selection Of The Most Appropriate Technology For Waste Mineral Oil Refiniring. Istanbul
- Pilusa, T.J., Mollagee, M.M., Muzenda, E., 2012. Reduction of Vehicle Exhaust Emissions from Diesel Engines Using the Whale Concept Filter. *Aerosol Air Qual. Res.* 12, 994–1006.
- Prasaji, R., 2013. Pemanfaatan Kombinasi Fly Ash Batubara Alkilbenzenasulfonat, dan Zeolit Pada Penjernihan Minyak Pelumas Bekas Dengan Metode P enyerapan 2, 7.
- Suparta, I.N., 2017. Daur Ulang Oli Bekas Menjadi Bahan Bakar Diesel Dengan Proses Pemurnian Menggunakan Media Asam Sulfat dan Natrium Hidroksida 17, 7.
- Wang, X., Ni, P., 2017. Combustion and emission characteristics of diesel engine fueled with diesel-like fuel from waste lubrication oil. *Energy Convers. Manag.* 133, 275–283.
- W. Pulkrabek, 2014. *Engineering Fundamentals Of The Internal Combustion Engine* (Second Edition,m p. 478). Pearson Prentice-Hall.

## Lampiran I Hasil Pengujian Properties Bahan Bakar

a. *Base Oil* Hasil Distilasi Minyak Pelumas Bekas



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**  
**LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT**  
 Gedung Pusat Riset, Lantai Lobby, Kampus ITS Sukolilo - Surabaya 60111  
 Telp : 031 - 5953759, Fax : 031 - 5955793, PABX : 1404, 1405  
<http://www.lppm.its.ac.id>

---

### LAPORAN HASIL PENGUJIAN

Nama Pemilik : Nur Irwan Setiawan  
 Alamat Pemilik : Sistem Perkapalan ITS  
 Nama Contoh : **DLF** Tanggal Terima : 15 Mar 2019  
 Deskripsi : Bentuk : Padat/Cair/Gas Tanggal Pengujian : 18 Mar 2019  
 Contoh : Volume : - Tanggal Selesai : 21 Mar 2019  
                   Kemasan : Botol Pengujian :  
 Kode Contoh : **EN-15** Jumlah Contoh : 1

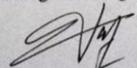
Menyatakan bahwa contoh tersebut di atas telah diuji di Laboratorium Energi & Lingkungan – LPPM ITS.

No.	Nama Contoh	Jenis Uji	Hasil	Satuan	Metode Pengujian
1	DLF	<i>Cetane Number</i>	66,0	-	Oktane/Cetane Meter
		<i>Pour Point</i>	-17	-	ASTM D 97-85
		<i>Kinematik Viscosity</i>	3,99	cSt	<i>Viscometer Bath</i>

Suhu : 22,0 °C  
 Humidity : 55%  
 Analisis : EWY, WNN  
 Sampling : dilakukan oleh Pelanggan

Catatan:  
 1. Hasil pengujian hanya berlaku untuk sampel yang diuji.  
 2. Laboratorium tidak bertanggung jawab atas kerugian pada pihak ke tiga.  
 3. Laporan hasil pengujian hanya boleh diperbanyak secara utuh.

Kepala Laboratorium  
Energi dan Lingkungan



**Dr. Ir. Susianto, DEA**  
NIP. 19620820 198903 1 004

Koordinator Teknis



**Vita Yuliana, S.Si**  
NIP. 1990201822404

FR/LEL-ITS/7.8-01 Laporan Hasil Pengujian Ter/Rev./TP.2/1/30042018

Gambar 1.1 Properties *Base Oil* Hasil Distilasi Minyak Pelumas Bekas



**LABORATORIUM TAKI**  
**(Teknologi Air dan Konsultasi Industri)**  
 Departemen Teknik Kimia FTI - ITS  
 Kampus ITS, Keputih - Sukolilo, Surabaya, Telp : 031-5922935  
 Fax. 031-5922935, E-mail : lab.taki@chem-eng.its.ac.id

---

**KETERANGAN HASIL ANALISA**  
 No. 23/L.TAKI/IV/2019

Terima dari : **Nur Irwan**  
 Sistem Perkapalan ITS  
 Jenis contoh : Bahan bakar  
 Kode contoh : -  
 Uji : LHV, flash point, Fe, Al, Cr, Total acid number  
 Diterima tgl. : 15 Maret 2019

Parameter	Satuan	Hasil analisa	Metode analisa
Gross calorific value (ar)	Cal/g	11.135,6	Bomb calorimeter
Flash point	°C	114	ASTM D-93
Fe	mg/L	<0,03	AAS
Al	mg/L	23,74	Spektrofotometri
Cr	mg/L	0,0625	AAS
Total acid number	mg KOH/g	1,63	Titrimetri

Keterangan :  
 Hasil analisa tersebut diatas berdasarkan contoh yang kami terima

Surabaya, 16 April 2019



**Siti Nurkhamidah, ST,MS,Ph.D**  
 Kepala Laboratorium TAKI

Gambar 1.2 Properties *Base Oil* Hasil Distilasi Minyak Pelumas Bekas

b. Campuran *Base Oil* dengan HSD (Bahan Bakar DLF 20)



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**  
 LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT  
 Gedung Pusat Riset, Lantai Lobby, Kampus ITS Sukolilo - Surabaya 60111  
 Telp : 031 - 5953759, Fax : 031 - 5955793, PABX : 1404, 1405  
 http://www.lppm.its.ac.id

---

**LAPORAN HASIL PENGUJIAN**

Nama Pemilik : Nur Irawan Setiawan  
 Alamat Pemilik : Teknik Sistem Perkapalan ITS

Nama Contoh : **DLF 20** Tanggal Terima : 29 Apr 2019

Deskripsi : Bentuk : Padat/Cair/Gas Tanggal Pengujian : 30 Apr 2019  
 Contoh Volume : - Tanggal Selesai : 06 Mei 2019  
 Kemasan : Botol Pengujian :  
 Kode Contoh : **EN-24** Jumlah Contoh : 01

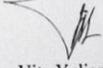
Menyatakan bahwa contoh tersebut di atas telah diuji di Laboratorium Energi & Lingkungan – LPPM ITS.

No.	Nama Contoh	Jenis Uji	Hasil	Satuan	Metode Pengujian
1.	DLF 20	Viscositas at 40°C	4,14	cSt	Viscometer bath
		Flash Point	86	°C	ASTM D 92
		Pour Point	-7	°C	ASTM D 97-85
		Cetane Number	68,3	-	Oktane/Cetane Meter
		LHV	18.412	BTU/lb	ASTM D 240

Suhu : 25,3 °C  
 Humidity : 63%  
 Analisis : WNN, VYA, MBB,EWY  
 Sampling : dilakukan oleh Pelanggan

Catatan:  
 1. Hasil pengujian hanya berlaku untuk sampel yang diuji.  
 2. Laboratorium tidak bertanggung jawab atas kerugian pada pihak ke tiga.  
 3. Laporan hasil pengujian hanya boleh diperbanyak secara utuh.

Kepala Laboratorium Energi dan Lingkungan  
  
Dr. Ir. Susianto, DEA  
 NIP. 19620820 198903 1 004

Koordinator Teknis  
  
Vita Yuliana, S.Si  
 NIP. 1990201822404

FR/LEL-ITS/7.8-01 Laporan Hasil Pengujian Ter/Rev./TP.2/1/30042018

Gambar 1.3 Properties *Base Oil* Hasil Distilasi Minyak Pelumas Bekas

*“Halaman Sengaja Dikosongkan”*

## Lampiran II Engine Performance

### a. Performa Mesin Dengan Bahan Bakar DLF20

Putaran Engine (rpm) kontrol	Putaran Engine (rpm) aktual	Beban (watt)	Putaran Alternator (rpm)	Alternator		Volume Bahan Bakar (m <sup>3</sup> )	Waktu (detik)	Waktu (menit)	Waktu (jam)	Densitas (gr/m <sup>3</sup> )	Efisiensi i Slip	Daya (kw)	FCR (mf) (gr/h)	SFOC (gr/kwh)	Torsi (Nm)	BMEP (N/m <sup>2</sup> )	LHV (JKg)	Eff. Thermal (%)	EGT Celcius
				Tegangan (volt)	Arus (ampere)														
1800	1803	1000	1314	187	4,19	0,00002	118	1,967	0,0328	855000	0,985	0,833	521,7	626,0	4,416	175867,88	42826317	13,4287	140
1800	1800	1500	1312	189	6,39	0,00002	97	1,617	0,0269	855000	0,994	1,287	634,6	483,3	6,829	271490,47	42826317	17,0408	148
1800	1804	2000	1312	192	8,66	0,00002	85	1,417	0,0236	855000	0,994	1,771	724,2	408,9	9,381	373775,69	42826317	20,5587	165
1800	1802	2500	1311	194	10,95	0,00002	75	1,250	0,0208	855000	0,993	2,265	820,8	362,4	12,007	477902,09	42826317	23,1934	186
1800	1801	3000	1300	193	13,17	0,00002	65	1,083	0,0181	855000	0,995	2,733	947,1	346,6	14,497	576667,53	42826317	24,2551	203
1800	1801	3500	1300	193	15,38	0,00002	56	0,933	0,0156	855000	0,985	3,191	1099,3	341,5	16,930	679435,58	42826317	24,4033	223
1800	1804	4000	1302	194	17,56	0,00002	48	0,800	0,0133	855000	0,986	3,657	1282,5	350,7	19,367	771686,72	42826317	23,9688	257
1900	1903	1000	1388	201	4,4	0,00002	101	1,683	0,0281	855000	0,986	0,940	609,5	646,4	4,719	187925,21	42826317	12,9644	148
1900	1905	1500	1387	204	6,64	0,00002	85	1,417	0,0236	855000	0,995	1,441	724,2	502,7	7,226	288036,52	42826317	16,7229	155
1900	1902	2000	1383	206	8,92	0,00002	78	1,300	0,0217	855000	0,993	1,960	789,2	402,6	9,846	391864,27	42826317	20,8774	175
1900	1904	2500	1383	208	11,31	0,00002	70	1,167	0,0194	855000	0,993	2,509	879,4	350,4	12,592	501683,17	42826317	23,9869	195
1900	1900	3000	1381	210	13,66	0,00002	55	0,917	0,0153	855000	0,991	3,064	119,3	365,2	15,410	612635,39	42826317	23,0150	222
1900	1901	3500	1381	209	16,02	0,00002	53	0,883	0,0147	855000	0,991	3,577	1161,5	324,7	17,976	716587,37	42826317	25,8859	260
1900	1903	4000	1376	208	18,24	0,00002	42	0,700	0,0117	855000	0,988	4,068	1465,7	360,3	20,422	813196,51	42826317	23,3287	280
2000	2000	1000	1455	217	4,53	0,00002	93	1,550	0,0258	855000	0,992	1,049	661,9	630,9	5,012	198260,27	42826317	13,3237	163
2000	2005	1500	1456	219	6,88	0,00002	79	1,317	0,0219	855000	0,993	1,607	779,2	484,9	7,658	305208,73	42826317	17,3359	171
2000	2002	2000	1454	220	9,23	0,00002	68	1,133	0,0189	855000	0,991	2,169	905,3	417,4	10,350	411894,26	42826317	20,1380	193
2000	2004	2500	1456	223	11,71	0,00002	61	1,017	0,0169	855000	0,993	2,785	1009,2	362,3	13,279	529894,04	42826317	23,1995	213
2000	2003	3000	1452	222	14,11	0,00002	52	0,867	0,0144	855000	0,990	3,350	1183,8	353,4	15,980	636266,62	42826317	23,7884	226
2000	2003	3500	1451	223	16,61	0,00002	48	0,800	0,0133	855000	0,989	3,964	1282,5	322,5	18,909	752892,29	42826317	25,9834	274
2000	2002	4000	1449	222	18,97	0,00002	36	0,600	0,0100	855000	0,988	4,513	1710,0	376,9	21,539	857191,17	42826317	22,1872	314

Tabel 1.1 Performa Mesin Pada RPM 1800, 1900, dan 2000

2100	2103	1000	1532	232	4,71	0,00002	89	1,483	0,0247	855000	0,995	1,163	691,7	594,7	5,284	210366,17	42826317	14,1344	179
2100	2102	1500	1530	234	7,13	0,00002	75	1,250	0,0208	855000	0,994	1,778	820,8	461,6	8,082	321817,54	42826317	18,2101	182
2100	2104	2000	1528	235	9,57	0,00002	64	1,067	0,0178	855000	0,992	2,400	961,9	400,8	10,898	434092,43	42826317	20,9736	207
2100	2102	2500	1526	236	12,09	0,00002	54	0,900	0,0150	855000	0,991	3,049	1140,0	373,9	13,858	551454,31	42826317	22,4810	228
2100	2102	3000	1525	236	14,6	0,00002	45	0,750	0,0125	855000	0,990	3,684	1368,0	371,3	16,746	666378,20	42826317	22,6384	260
2100	2104	3500	1523	236	17,17	0,00002	39	0,650	0,0108	855000	0,989	4,338	1578,5	363,8	19,700	784708,15	42826317	23,1039	301
2100	0	4000	0	0	0	0,00002				855000									
2200	2201	1000	1601	248	4,9	0,00002	80	1,333	0,0222	855000	0,992	1,297	769,5	593,5	5,628	223862,94	42826317	14,1640	190
2200	2200	1500	1600	249	7,4	0,00002	69	1,150	0,0192	855000	0,992	1,967	892,2	453,5	8,543	339854,09	42826317	18,5354	192
2200	2202	2000	1599	250	9,91	0,00002	56	0,933	0,0156	855000	0,991	2,647	1093,3	415,3	11,484	466973,45	42826317	20,2392	213
2200	2200	2500	1597	250	12,53	0,00002	45	0,750	0,0125	855000	0,990	3,351	1368,0	408,3	14,551	578311,41	42826317	20,3892	242
2200	2202	3000	1595	250	15,09	0,00002	38	0,633	0,0106	855000	0,989	4,040	1620,0	401,0	17,530	697580,50	42826317	20,3649	308
2200	-	3500	-	-	-	0,00002				855000									
2200	-	4000	-	-	-	0,00002				855000									

Tabel 1.2 Performa Mesin Pada RPM 2100 dan 2200

## b. Performa Mesin Dengan Bahan Bakar B20

Putaran Engine (rpm) kontrol	Putaran Engine (rpm) aktual	Beban (watt)	Putaran Alumina (rpm)	Alternator		Volume Bahan (m3)	Waktu (detik)	Waktu (menit)	Waktu (jam)	Densitas (gr/m3)	Efisiens i Slip	Daya (kw)	FCR (mf) (gr/h)	SFOC (gr/kwh)	T orsi (Nm)	BMEP (N/m2)	LHV (J/Kg)	Eff. Thermal (%)	EGT Celcius
				tegangan (volt)	Arus (ampere)														
1800	1801	1000	1314	194	4,22	0,00002	100	1,667	0,0278	825000	0,995	0,871	594,0	682,1	4,619	183757,29	42537888	12,4067	125
1800	1802	1500	1312	195	6,46	0,00002	92	1,533	0,0256	825000	0,994	1,342	645,7	481,1	7,115	283177,71	42537888	17,5897	144
1800	1803	2000	1312	195	8,7	0,00002	83	1,383	0,0231	825000	0,994	1,807	715,7	396,0	9,577	381369,36	42537888	21,3715	159
1800	1801	2500	1311	196	10,49	0,00002	77	1,283	0,0214	825000	0,993	2,192	771,4	351,9	11,628	462545,69	42537888	24,0468	187
1800	1803	3000	1308	196	12,73	0,00002	68	1,133	0,0189	825000	0,991	2,666	873,5	327,6	14,128	562603,59	42537888	25,8299	204
1800	1803	3500	1306	197	15	0,00002	60	1,000	0,0167	825000	0,989	3,162	990,0	313,1	16,757	667329,12	42537888	27,0336	217
1800	1800	4000	1302	195	17,11	0,00002	52	0,867	0,0144	825000	0,986	3,582	1142,3	318,9	19,010	755786,98	42537888	26,5347	238
1900	1902	1000	1386	203	4,36	0,00002	101	1,683	0,0281	825000	0,995	0,942	588,1	624,3	4,732	188341,08	42537888	13,5569	167
1900	1901	1500	1383	205	6,69	0,00002	85	1,417	0,0236	825000	0,993	1,463	698,8	477,7	7,353	292471,51	42537888	17,7172	169
1900	1902	2000	1383	207	9,02	0,00002	80	1,333	0,0222	825000	0,993	1,992	742,5	372,8	10,005	398180,94	42537888	22,7020	179
1900	1903	2500	1382	208	10,89	0,00002	74	1,233	0,0206	825000	0,992	2,418	802,7	332,0	12,140	483402,55	42537888	25,4937	194
1900	1902	3000	1380	208	13,22	0,00002	65	1,083	0,0181	825000	0,990	2,940	913,8	310,9	14,766	587680,76	42537888	27,2237	222
1900	1902	3500	1380	209	15,56	0,00002	56	0,933	0,0156	825000	0,990	3,477	1060,7	305,1	17,464	695028,42	42537888	27,7385	232
1900	1903	4000	1378	207	18,11	0,00002	48	0,800	0,0133	825000	0,989	4,013	1237,5	308,3	20,150	802352,75	42537888	27,4473	262
2000	2002	1000	1461	214	4,5	0,00002	98	1,633	0,0272	825000	0,996	1,024	606,1	592,1	4,885	194402,50	42537888	14,2921	171
2000	2003	1500	1460	218	6,92	0,00002	84	1,400	0,0233	825000	0,995	1,605	707,1	440,7	7,654	304744,24	42537888	19,2037	178
2000	2000	2000	1459	219	9,33	0,00002	73	1,217	0,0203	825000	0,995	2,175	813,7	374,1	10,389	413043,92	42537888	22,6198	194
2000	2001	2500	1455	222	11,74	0,00002	62	1,033	0,0172	825000	0,992	2,782	968,1	344,4	13,282	528303,94	42537888	24,5722	205
2000	2003	3000	1454	222	14,16	0,00002	55	0,917	0,0153	825000	0,991	3,357	1080,0	321,7	16,015	637642,99	42537888	26,3093	232
2000	2003	3500	1449	221	16,51	0,00002	49	0,817	0,0136	825000	0,988	3,910	1212,2	310,0	18,652	742671,45	42537888	27,3000	253
2000	2002	4000	1447	221	18,82	0,00002	41	0,683	0,0114	825000	0,987	4,464	1448,8	324,6	21,302	847752,60	42537888	26,0749	286

Tabel 1.3 Performa Mesin Pada RPM 1800, 1900, dan 2000

2100	2103	1000	1532	230	4,7	0,00002	88	1,467	0,0244	825000	0,995	1,151	675,0	586,7	5,227	208109,88	42537888	14,4256	196
2100	2102	1500	1531	232	7,48	0,00002	80	1,333	0,0222	825000	0,994	1,774	742,5	418,5	8,064	320895,04	42537888	20,2214	182
2100	2101	2000	1530	233	9,66	0,00002	69	1,150	0,0192	825000	0,994	2,399	860,9	358,9	10,908	433877,76	42537888	23,5817	191
2100	2102	2500	1529	235	12,13	0,00002	54	0,900	0,0150	825000	0,993	3,040	1100,0	361,8	13,817	549853,44	42537888	23,3683	216
2100	2102	3000	1526	236	14,65	0,00002	46	0,767	0,0128	825000	0,991	3,694	1291,3	349,5	16,792	668222,14	42537888	24,2124	233
2100	2103	3500	1524	234	17,05	0,00002	42	0,700	0,0117	825000	0,990	4,269	1414,3	331,3	19,393	772113,32	42537888	25,5440	269
2100		4000				0,00002				825000									
2200	2203	1000	1604	245	4,87	0,00002	85	1,417	0,0236	825000	0,994	1,271	698,8	550,0	5,511	219389,81	42537888	15,3685	176
2200	2202	1500	1603	248	7,45	0,00002	71	1,183	0,0197	825000	0,994	1,969	836,6	424,9	8,543	339938,38	42537888	19,9168	189
2200	2202	2000	1599	249	10,03	0,00002	62	1,033	0,0172	825000	0,991	2,688	958,1	359,1	11,576	460656,90	42537888	23,5685	209
2200	2201	2500	1597	250	12,55	0,00002	55	0,917	0,0153	825000	0,990	3,356	1080,0	321,8	14,568	579434,82	42537888	26,2984	220
2200	2201	3000	1594	247	15,04	0,00002	47	0,783	0,0131	825000	0,988	3,981	1263,8	317,5	17,281	687356,81	42537888	26,6569	239
2200		3500				0,00002				825000									
2200		4000				0,00002				825000									

Tabel 1.4 Performa Mesin Pada RPM 2100 dan 2200

## Lampiran III Emission Result

### a. Hasil Pengujian Emisi



**FORMULIR**  
LABORATORIUM ENERGI DAN LINGKUNGAN  
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN MASYARAKAT  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

**LAPORAN HASIL PENGUJIAN (BENTUK SEDERHANA)**

No:006/LHS/LEL-ITS/VII/2019

No. Permintaan Pengujian : 378 / LEL-ITS/VII/2019			
Nama Pelanggan	: Nur Irwan S	Tanggal Terima	: 12 April 2019
Alamat Pelanggan	: Teknik Sistem Perkapalan	Tanggal Pengujian	: 03 Juli 2019
Nama Contoh	: Gas Buang Generator	Tanggal Selesai	: 03 Juli 2019
Metode Pengujian	: ECOM	Jumlah Contoh	: 32
Kode Contoh	: EJ-356	Paraf Penyelia	:

Menyatakan bahwa contoh tersebut telah diuji di Laboratorium Energi dan Lingkungan – LPPM ITS.

**Hasil Pengujian:**

1. DLF 20 ( 100%)

* E C O M - J I T O N *		* E C O M - J I T O N *	
Date	Time	Date	Time
01.03.00	09:35 AM	01.03.00	09:35 AM
Gas analysis		Gas analysis	
Fuel type Gas-natural		Fuel type Gas-natural	
T-air	78 °F	T-air	78 °F
L-H <sub>2</sub> O	386 °F	L-H <sub>2</sub> O	384 °F
L-Sensor	75 °F	L-Sensor	75 °F
SO <sub>2</sub>	19.5 %	SO <sub>2</sub>	19.5 %
NO	121 PPM	NO	121 PPM
SO <sub>2</sub>	0 PPM	SO <sub>2</sub>	0 PPM
HC	0 PPM	HC	0 PPM
CO <sub>2</sub>	0.8 %	CO <sub>2</sub>	0.8 %
Et <sub>1</sub>	17.6 %	Et <sub>1</sub>	18.0 %
Losses	52.4 %	Losses	52.0 %
Exc. air	14.00	Exc. air	14.00
ECOM America Ltd. 1628 Oakbrook Drive Gainesville Georgia 30507 Tel: 770-532-3280 Fax: 770-532-3600 Toll-Free 877-326-6411 www.ecoind.com		ECOM America Ltd. 1628 Oakbrook Drive Gainesville Georgia 30507 Tel: 770-532-3280 Fax: 770-532-3600 Toll-Free 877-326-6411 www.ecoind.com	

halaman 1 dari 18

FR/LEL-ITS/7.9-02 Laporan Hasil Pengujian (Bentuk Sederhana)

Ter./Rev./TP:1/1/30042018

Gambar 1.4 Hasil Pengujian Emisi Bahan Bakar DLF20 Power 100%



**FORMULIR**  
**LABORATORIUM ENERGI DAN LINGKUNGAN**  
**LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN MASYARAKAT**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

2. DLF 20 ( 75%)

```
*****
* E C O N - J 2 K N *
*****
Date      Time
01.13.00  01:37 AM

-----
Gas analysis
-----
Fuel type
Gas-Natural

T.Air      80  °F
T.Gas      351  °F
T.Sensor   76  °F
O2          19.2  %
NO         150  ppm
SO2         0  ppm
H2          0  ppm
CO2        1.0  %
Eff.       49.5  %
Losses     50.5  %
Exc. air   11.0  %

ECON Energy Ltd.
1628 Oakbrook Drive
Bloomington
Illinois 61867
Tel.: 708-532-3200
Fax: 708-532-3200
Toll-Free 877-320-6411
www.econusa.com
```

```
*****
* E C O N - J 2 K N *
*****
Date      Time
01.13.00  01:37 AM

-----
Gas analysis
-----
Fuel type
Gas-Natural

T.Air      80  °F
T.Gas      352  °F
T.Sensor   76  °F
O2          19.2  %
NO         130  ppm
SO2         0  ppm
H2          0  ppm
CO2        1.0  %
Eff.       49.5  %
Losses     50.5  %
Exc. air   11.0  %

ECON Energy Ltd.
1628 Oakbrook Drive
Bloomington
Illinois 61867
Tel.: 708-532-3200
Fax: 708-532-3200
Toll-Free 877-320-6411
www.econusa.com
```

3. DLF 20 ( 50%)

```
*****
* E C O N - J 2 K N *
*****
Date      Time
01.13.00  01:40 AM

-----
Gas analysis
-----
Fuel type
Gas-Natural

T.Air      82  °F
T.Gas      297  °F
T.Sensor   77  °F
O2          19.2  %
NO         99  ppm
SO2         0  ppm
H2          0  ppm
CO2        1.0  %
Eff.       47.5  %
Losses     52.5  %
Exc. air   11.0  %

ECON Energy Ltd.
1628 Oakbrook Drive
Bloomington
Illinois 61867
Tel.: 708-532-3200
Fax: 708-532-3200
Toll-Free 877-320-6411
www.econusa.com
```

```
*****
* E C O N - J 2 K N *
*****
Date      Time
01.13.00  01:39 AM

-----
Gas analysis
-----
Fuel type
Gas-Natural

T.Air      80  °F
T.Gas      306  °F
T.Sensor   77  °F
O2          19.2  %
NO         99  ppm
SO2         0  ppm
H2          0  ppm
CO2        1.0  %
Eff.       47.5  %
Losses     52.5  %
Exc. air   11.0  %

ECON Energy Ltd.
1628 Oakbrook Drive
Bloomington
Illinois 61867
Tel.: 708-532-3200
Fax: 708-532-3200
Toll-Free 877-320-6411
www.econusa.com
```

Gambar 1.5 Hasil Pengujian Emisi Bahan Bakar DLF20 Power 75% dan 50%



**FORMULIR**  
**LABORATORIUM ENERGI DAN LINGKUNGAN**  
**LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN MASYARAKAT**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

4. DLF 20 ( 25%)

```

*****
* E C O N - 3 2 K N *
*****
Date      Time
01.13.00  01:42 AM

Gas analysis
-----
Fuel type
Gas-Natural

T.Air      83  °F
T.Gas     249  °F
T.Sensor   79  °F
O2        19.6  %
NO        56  ppm
NO2        0  ppm
CO        0  ppm
CO2        0  ppm
Eff.      88.7  %
Losses    11.3  %
Exp.      15.00

PT. ECOM, Ltd.
Jl. Darmasatya Drive
Surabaya 60132
Telp. 778-532-3708
Fax 778-532-3632
Toll-Free 800-320-4411
www.ecom.com
    
```

```

*****
* E C O N - 3 2 K N *
*****
Date      Time
01.13.00  01:42 AM

Gas analysis
-----
Fuel type
Gas-Natural

T.Air      83  °F
T.Gas     249  °F
T.Sensor   79  °F
O2        19.6  %
NO        55  ppm
NO2        0  ppm
CO        0  ppm
CO2        0  ppm
Eff.      88.7  %
Losses    11.3  %
Exp.      15.00

PT. ECOM, Ltd.
Jl. Darmasatya Drive
Surabaya 60132
Telp. 778-532-3708
Fax 778-532-3632
Toll-Free 800-320-4411
www.ecom.com
    
```

Gambar 1.6 Hasil Pengujian Emisi Bahan Bakar DLF20 Power 25%





**FORMULIR**  
**LABORATORIUM ENERGI DAN LINGKUNGAN**  
**LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN MASYARAKAT**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

7. Biosolar 20 ( 50% )

```
*****XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
* F L C O N - J 2 4 H *
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
Date Time
01.12.00 02:00 AM

Gas analysis
-----
Fuel type
Gas-Natural

T.Air 50 °F
T.Gas 79 °F
T.Sensor 87 °F
O2 19.7 %
NO 87 ppm
NO2 0 ppm
CO 0 ppm
CO2 1.2 ppm
EFF 88.7 %
Losses
Exh. Air 8.17
DPM 0.00
PM 0.00
SOx 0.00
H2S 0.00
NH3 0.00
HC 0.00
H2 0.00
H2O 0.00
H2O2 0.00
H2O3 0.00
H2O4 0.00
H2O5 0.00
H2O6 0.00
H2O7 0.00
H2O8 0.00
H2O9 0.00
H2O10 0.00
H2O11 0.00
H2O12 0.00
H2O13 0.00
H2O14 0.00
H2O15 0.00
H2O16 0.00
H2O17 0.00
H2O18 0.00
H2O19 0.00
H2O20 0.00
H2O21 0.00
H2O22 0.00
H2O23 0.00
H2O24 0.00
H2O25 0.00
H2O26 0.00
H2O27 0.00
H2O28 0.00
H2O29 0.00
H2O30 0.00
H2O31 0.00
H2O32 0.00
H2O33 0.00
H2O34 0.00
H2O35 0.00
H2O36 0.00
H2O37 0.00
H2O38 0.00
H2O39 0.00
H2O40 0.00
H2O41 0.00
H2O42 0.00
H2O43 0.00
H2O44 0.00
H2O45 0.00
H2O46 0.00
H2O47 0.00
H2O48 0.00
H2O49 0.00
H2O50 0.00
H2O51 0.00
H2O52 0.00
H2O53 0.00
H2O54 0.00
H2O55 0.00
H2O56 0.00
H2O57 0.00
H2O58 0.00
H2O59 0.00
H2O60 0.00
H2O61 0.00
H2O62 0.00
H2O63 0.00
H2O64 0.00
H2O65 0.00
H2O66 0.00
H2O67 0.00
H2O68 0.00
H2O69 0.00
H2O70 0.00
H2O71 0.00
H2O72 0.00
H2O73 0.00
H2O74 0.00
H2O75 0.00
H2O76 0.00
H2O77 0.00
H2O78 0.00
H2O79 0.00
H2O80 0.00
H2O81 0.00
H2O82 0.00
H2O83 0.00
H2O84 0.00
H2O85 0.00
H2O86 0.00
H2O87 0.00
H2O88 0.00
H2O89 0.00
H2O90 0.00
H2O91 0.00
H2O92 0.00
H2O93 0.00
H2O94 0.00
H2O95 0.00
H2O96 0.00
H2O97 0.00
H2O98 0.00
H2O99 0.00
H2O100 0.00
*****
```

```
*****XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
* F L C O N - J 2 4 H *
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
Date Time
01.12.00 02:00 AM

Gas analysis
-----
Fuel type
Gas-Natural

T.Air 50 °F
T.Gas 79 °F
T.Sensor 87 °F
O2 19.7 %
NO 87 ppm
NO2 0 ppm
CO 0 ppm
CO2 1.2 ppm
EFF 88.7 %
Losses
Exh. Air 8.17
DPM 0.00
PM 0.00
SOx 0.00
H2S 0.00
NH3 0.00
HC 0.00
H2 0.00
H2O 0.00
H2O2 0.00
H2O3 0.00
H2O4 0.00
H2O5 0.00
H2O6 0.00
H2O7 0.00
H2O8 0.00
H2O9 0.00
H2O10 0.00
H2O11 0.00
H2O12 0.00
H2O13 0.00
H2O14 0.00
H2O15 0.00
H2O16 0.00
H2O17 0.00
H2O18 0.00
H2O19 0.00
H2O20 0.00
H2O21 0.00
H2O22 0.00
H2O23 0.00
H2O24 0.00
H2O25 0.00
H2O26 0.00
H2O27 0.00
H2O28 0.00
H2O29 0.00
H2O30 0.00
H2O31 0.00
H2O32 0.00
H2O33 0.00
H2O34 0.00
H2O35 0.00
H2O36 0.00
H2O37 0.00
H2O38 0.00
H2O39 0.00
H2O40 0.00
H2O41 0.00
H2O42 0.00
H2O43 0.00
H2O44 0.00
H2O45 0.00
H2O46 0.00
H2O47 0.00
H2O48 0.00
H2O49 0.00
H2O50 0.00
H2O51 0.00
H2O52 0.00
H2O53 0.00
H2O54 0.00
H2O55 0.00
H2O56 0.00
H2O57 0.00
H2O58 0.00
H2O59 0.00
H2O60 0.00
H2O61 0.00
H2O62 0.00
H2O63 0.00
H2O64 0.00
H2O65 0.00
H2O66 0.00
H2O67 0.00
H2O68 0.00
H2O69 0.00
H2O70 0.00
H2O71 0.00
H2O72 0.00
H2O73 0.00
H2O74 0.00
H2O75 0.00
H2O76 0.00
H2O77 0.00
H2O78 0.00
H2O79 0.00
H2O80 0.00
H2O81 0.00
H2O82 0.00
H2O83 0.00
H2O84 0.00
H2O85 0.00
H2O86 0.00
H2O87 0.00
H2O88 0.00
H2O89 0.00
H2O90 0.00
H2O91 0.00
H2O92 0.00
H2O93 0.00
H2O94 0.00
H2O95 0.00
H2O96 0.00
H2O97 0.00
H2O98 0.00
H2O99 0.00
H2O100 0.00
*****
```

8. Biosolar 20 ( 25% )

```
*****XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
* F L C O N - J 2 4 H *
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
Date Time
01.12.00 02:00 AM

Gas analysis
-----
Fuel type
Gas-Natural

T.Air 50 °F
T.Gas 79 °F
T.Sensor 87 °F
O2 19.7 %
NO 87 ppm
NO2 0 ppm
CO 0 ppm
CO2 1.2 ppm
EFF 88.7 %
Losses
Exh. Air 8.17
DPM 0.00
PM 0.00
SOx 0.00
H2S 0.00
NH3 0.00
HC 0.00
H2 0.00
H2O 0.00
H2O2 0.00
H2O3 0.00
H2O4 0.00
H2O5 0.00
H2O6 0.00
H2O7 0.00
H2O8 0.00
H2O9 0.00
H2O10 0.00
H2O11 0.00
H2O12 0.00
H2O13 0.00
H2O14 0.00
H2O15 0.00
H2O16 0.00
H2O17 0.00
H2O18 0.00
H2O19 0.00
H2O20 0.00
H2O21 0.00
H2O22 0.00
H2O23 0.00
H2O24 0.00
H2O25 0.00
H2O26 0.00
H2O27 0.00
H2O28 0.00
H2O29 0.00
H2O30 0.00
H2O31 0.00
H2O32 0.00
H2O33 0.00
H2O34 0.00
H2O35 0.00
H2O36 0.00
H2O37 0.00
H2O38 0.00
H2O39 0.00
H2O40 0.00
H2O41 0.00
H2O42 0.00
H2O43 0.00
H2O44 0.00
H2O45 0.00
H2O46 0.00
H2O47 0.00
H2O48 0.00
H2O49 0.00
H2O50 0.00
H2O51 0.00
H2O52 0.00
H2O53 0.00
H2O54 0.00
H2O55 0.00
H2O56 0.00
H2O57 0.00
H2O58 0.00
H2O59 0.00
H2O60 0.00
H2O61 0.00
H2O62 0.00
H2O63 0.00
H2O64 0.00
H2O65 0.00
H2O66 0.00
H2O67 0.00
H2O68 0.00
H2O69 0.00
H2O70 0.00
H2O71 0.00
H2O72 0.00
H2O73 0.00
H2O74 0.00
H2O75 0.00
H2O76 0.00
H2O77 0.00
H2O78 0.00
H2O79 0.00
H2O80 0.00
H2O81 0.00
H2O82 0.00
H2O83 0.00
H2O84 0.00
H2O85 0.00
H2O86 0.00
H2O87 0.00
H2O88 0.00
H2O89 0.00
H2O90 0.00
H2O91 0.00
H2O92 0.00
H2O93 0.00
H2O94 0.00
H2O95 0.00
H2O96 0.00
H2O97 0.00
H2O98 0.00
H2O99 0.00
H2O100 0.00
*****
```

```
*****XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
* F L C O N - J 2 4 H *
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
Date Time
01.12.00 02:00 AM

Gas analysis
-----
Fuel type
Gas-Natural

T.Air 50 °F
T.Gas 79 °F
T.Sensor 87 °F
O2 19.7 %
NO 87 ppm
NO2 0 ppm
CO 0 ppm
CO2 1.2 ppm
EFF 88.7 %
Losses
Exh. Air 8.17
DPM 0.00
PM 0.00
SOx 0.00
H2S 0.00
NH3 0.00
HC 0.00
H2 0.00
H2O 0.00
H2O2 0.00
H2O3 0.00
H2O4 0.00
H2O5 0.00
H2O6 0.00
H2O7 0.00
H2O8 0.00
H2O9 0.00
H2O10 0.00
H2O11 0.00
H2O12 0.00
H2O13 0.00
H2O14 0.00
H2O15 0.00
H2O16 0.00
H2O17 0.00
H2O18 0.00
H2O19 0.00
H2O20 0.00
H2O21 0.00
H2O22 0.00
H2O23 0.00
H2O24 0.00
H2O25 0.00
H2O26 0.00
H2O27 0.00
H2O28 0.00
H2O29 0.00
H2O30 0.00
H2O31 0.00
H2O32 0.00
H2O33 0.00
H2O34 0.00
H2O35 0.00
H2O36 0.00
H2O37 0.00
H2O38 0.00
H2O39 0.00
H2O40 0.00
H2O41 0.00
H2O42 0.00
H2O43 0.00
H2O44 0.00
H2O45 0.00
H2O46 0.00
H2O47 0.00
H2O48 0.00
H2O49 0.00
H2O50 0.00
H2O51 0.00
H2O52 0.00
H2O53 0.00
H2O54 0.00
H2O55 0.00
H2O56 0.00
H2O57 0.00
H2O58 0.00
H2O59 0.00
H2O60 0.00
H2O61 0.00
H2O62 0.00
H2O63 0.00
H2O64 0.00
H2O65 0.00
H2O66 0.00
H2O67 0.00
H2O68 0.00
H2O69 0.00
H2O70 0.00
H2O71 0.00
H2O72 0.00
H2O73 0.00
H2O74 0.00
H2O75 0.00
H2O76 0.00
H2O77 0.00
H2O78 0.00
H2O79 0.00
H2O80 0.00
H2O81 0.00
H2O82 0.00
H2O83 0.00
H2O84 0.00
H2O85 0.00
H2O86 0.00
H2O87 0.00
H2O88 0.00
H2O89 0.00
H2O90 0.00
H2O91 0.00
H2O92 0.00
H2O93 0.00
H2O94 0.00
H2O95 0.00
H2O96 0.00
H2O97 0.00
H2O98 0.00
H2O99 0.00
H2O100 0.00
*****
```

Gambar 1.8 Hasil Pengujian Emisi Bahan Bakar DLF20 Power 50% dan 25%



**FORMULIR**  
**LABORATORIUM ENERGI DAN LINGKUNGAN**  
**LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN MASYARAKAT**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

29. DLF 20 Part 2 (100%)

\*\*\*\*\*  
 \* E C O M - J 2 K N \*  
 \*\*\*\*\*  
 Date Time  
 01.13.00 03:40 AM

Gas analysis

Fuel type  
 Gas-Natural

T.Air	93	°F
T.Gas	436	°F
T.Sensor	98	°F
O2	20.4	%
NO	59	PPM
SO2	0	PPM
H2	0	PPM
CO2	0.3	%
Eff.	0.0	%
Losses	100.0	%
Exc. air	35.00	

ECOM America Ltd.  
 1628 Oakbrook Drive  
 Gainesville  
 Georgia 30507  
 Tel. 770-532-3280  
 Fax: 770-532-3620  
 Toll-Free 877-326-6411  
 www.ecomusa.com

\*\*\*\*\*  
 \* E C O M - J 2 K N \*  
 \*\*\*\*\*  
 Date Time  
 01.13.00 03:39 AM

Gas analysis

Fuel type  
 Gas-Natural

T.Air	93	°F
T.Gas	444	°F
T.Sensor	98	°F
O2	20.4	%
NO	59	PPM
SO2	0	PPM
H2	0	PPM
CO2	0.3	%
Eff.	0.0	%
Losses	100.0	%
Exc. air	35.00	

ECOM America Ltd.  
 1628 Oakbrook Drive  
 Gainesville  
 Georgia 30507  
 Tel. 770-532-3280  
 Fax: 770-532-3620  
 Toll-Free 877-326-6411  
 www.ecomusa.com

30. DLF 20 Part 2 (75%)

\*\*\*\*\*  
 \* E C O M - J 2 K N \*  
 \*\*\*\*\*  
 Date Time  
 01.13.00 03:42 AM

Gas analysis

Fuel type  
 Gas-Natural

T.Air	93	°F
T.Gas	410	°F
T.Sensor	98	°F
O2	19.2	%
NO	187	PPM
SO2	0	PPM
H2	0	PPM
CO2	1.0	%
Eff.	27.7	%
Losses	72.3	%
Exc. air	11.67	

ECOM America Ltd.  
 1628 Oakbrook Drive  
 Gainesville  
 Georgia 30507  
 Tel. 770-532-3280  
 Fax: 770-532-3620  
 Toll-Free 877-326-6411  
 www.ecomusa.com

\*\*\*\*\*  
 \* E C O M - J 2 K N \*  
 \*\*\*\*\*  
 Date Time  
 01.13.00 03:41 AM

Gas analysis

Fuel type  
 Gas-Natural

T.Air	93	°F
T.Gas	414	°F
T.Sensor	98	°F
O2	19.2	%
NO	186	PPM
SO2	0	PPM
H2	0	PPM
CO2	1.0	%
Eff.	26.9	%
Losses	73.1	%
Exc. air	11.67	

ECOM America Ltd.  
 1628 Oakbrook Drive  
 Gainesville  
 Georgia 30507  
 Tel. 770-532-3280  
 Fax: 770-532-3620  
 Toll-Free 877-326-6411  
 www.ecomusa.com

halaman 16 dari 18

Gambar 1.9 Hasil Pengujian Emisi Bahan Bakar DLF20 Part 2 Power 100% dan 75%



## FORMULIR

LABORATORIUM ENERGI DAN LINGKUNGAN  
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN MASYARAKAT  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

### 31. DLF 20 Part 2 (50%)

```
*****
* E C O M - J 2 K N *
*****
Date      Time
01.13.00  03:44 AM
```

#### Gas analysis

Fuel type  
Gas-Natural

T.Air	93	°F
T.Gas	357	°F
T.Sensor	98	°F
O2	20,2	%
NO	72	PPM
SO2	0	PPM
H2	0	PPM
CO2	0,4	%
Eff.	0,0	%
Losses	100,0	%
Exc. air	26,25	

ECOM America Ltd.  
1628 Oakbrook Drive  
Gainesville  
Georgia 30507  
Tel. 770-532-3280  
Fax: 770-532-3620  
Toll-Free 877-326-6411  
www.ecomusa.com

### 32. DLF 20 Part 2 (25%)

```
*****
* E C O M - J 2 K N *
*****
Date      Time
01.13.00  03:46 AM
```

#### Gas analysis

Fuel type  
Gas-Natural

T.Air	93	°F
T.Gas	273	°F
T.Sensor	99	°F
O2	20,3	%
NO	68	PPM
SO2	0	PPM
H2	0	PPM
CO2	0,4	%
Eff.	0,0	%
Losses	100,0	%
Exc. air	30,00	

ECOM America Ltd.  
1628 Oakbrook Drive  
Gainesville  
Georgia 30507  
Tel. 770-532-3280  
Fax: 770-532-3620  
Toll-Free 877-326-6411  
www.ecomusa.com

```
*****
* E C O M - J 2 K N *
*****
Date      Time
01.13.00  03:43 AM
```

#### Gas analysis

Fuel type  
Gas-Natural

T.Air	93	°F
T.Gas	330	°F
T.Sensor	98	°F
O2	20,5	%
NO	59	PPM
SO2	0	PPM
H2	0	PPM
CO2	0,3	%
Eff.	0,0	%
Losses	100,0	%
Exc. air	42,00	

ECOM America Ltd.  
1628 Oakbrook Drive  
Gainesville  
Georgia 30507  
Tel. 770-532-3280  
Fax: 770-532-3620  
Toll-Free 877-326-6411  
www.ecomusa.com

```
*****
* E C O M - J 2 K N *
*****
Date      Time
01.13.00  03:46 AM
```

#### Gas analysis

Fuel type  
Gas-Natural

T.Air	93	°F
T.Gas	259	°F
T.Sensor	99	°F
O2	19,5	%
NO	124	PPM
SO2	0	PPM
H2	0	PPM
CO2	0,8	%
Eff.	51,1	%
Losses	48,9	%
Exc. air	14,00	

ECOM America Ltd.  
1628 Oakbrook Drive  
Gainesville  
Georgia 30507  
Tel. 770-532-3280  
Fax: 770-532-3620  
Toll-Free 877-326-6411  
www.ecomusa.com

halaman 17 dari 18

Gambar 1.10 Hasil Pengujian Emisi Bahan Bakar DLF20 Part 2 Power 50% dan 25%



## FORMULIR

LABORATORIUM ENERGI DAN LINGKUNGAN  
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN MASYARAKAT  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

```
*****
* E C O M - J 2 K N *
*****
Date      Time
01.13.00  03:46 AM
```

### Gas analysis

Fuel type  
Gas-Natural

T,Air	93	°F
T,Gas	279	°F
T,Sensor	99	°F
O2	19.6	%
NO	114	PPM
SO2	0	PPM
H2	0	PPM
CO2	0.8	%
Eff.	43.2	%
Losses	56.8	%
Exc. air	15.00	

ECOM America Ltd.  
1628 Oakbrook Drive  
Gainesville  
Georgia 30507  
Tel. 770-532-3200  
Fax: 770-532-3620  
Toll-Free 877-326-6411  
www.ecomusa.com

Suhu : -  
Kelembaban : -  
Analisis : MBB, DPS

#### Keterangan tambahan :

- Hasil uji hanya berlaku dari sampel yang diuji
- Laboratorium tidak bertanggung jawab atas kerugian pada pihak ke tiga.
- Laporan hasil pengujian hanya diperbanyak secara utuh.

Surabaya, 04 Juli 2019

Koordinator Teknis

Vita Yuliana,  
NIP. 1990201822404

halaman 18 dari 18

Gambar 1.11 Hasil Pengujian Emisi Bahan Bakar DLF20 Part 2 Power 25%

Fuel	Load Percentage (%)	Load	RPM		Alternator		Power (kW)	Conversion		Final Emission
			Engine	Alternator	Voltage (V)	Current (I)		NO <sub>x</sub> (ppm)	NO <sub>x</sub> (g/kWh)	
D.I.F 20	100%	3510,97	2101	1523	236	17,08	4,318	157,30	2,65	
	75%	2657,78	2100	1525	235	13,01	3,269	169,00	3,72	
	50%	1804,59	2101	1528	233	8,67	2,157	128,70	4,26	
	25%	951,40	2102	1530	231	4,38	1,079	71,50	4,67	
B 20	100%	3481,21	2102	1524	237	16,74	4,249	170,30	2,90	
	75%	2632,23	2102	1525	236	12,62	3,188	133,90	3,01	
	50%	1783,25	2101	1527	235	8,53	2,142	169,00	5,61	
	25%	934,27	2102	1529	233	4,27	1,062	113,10	7,50	
Fuel	Engine Power (kW)	Fuel Density (g/m <sup>3</sup> )	Air Density (g/m <sup>3</sup> )	Engine Capacity (m <sup>3</sup> )	Humidity Correction	Engine RPM	Volume Flow Rate (m <sup>3</sup> /s)	Air Mass Flow Rate (g/s)	Torque (Nm)	
D.I.F 20	4,318	855000	1204	0,000493	1,12	2101	0,0086316	10,39246	19,634	
	2100					0,0086275	10,38751	14,873		
	2101					0,0086316	10,39246	9,808		
	2102					0,0086357	10,39740	4,906		
B 20	4,249	825000	1204	0,000493	1,12	2102	0,0086357	10,39740	19,312	
	2102					0,0086357	10,39740	14,488		
	2101					0,0086316	10,39246	9,739		
	2102					0,0086357	10,39740	4,827		
Fuel	Load Percentage (%)	Engine Power (kW)	BMEP (kPa)	SFOC (gr/kWh)	Fuel Mass Flow Rate (g/s)	Exhaust Gas Mass Flow Rate (kg/h)	Weight Factor	NO <sub>x</sub> Mass Flow Rate (g/h)	HC Mass Flow Rate (g/h)	
D.I.F 20	100%	4,318	780,59	324,04	0,606	39,60	0,20	11,45	0,059	
	75%	3,269	591,29	356,27	0,477	39,11	0,50	12,15	0,082	
	50%	2,157	389,92	413,66	0,387	38,81	0,15	9,18	0,093	
	25%	1,079	195,04	559,17	0,262	38,37	0,15	5,04	0,101	
B 20	100%	4,249	767,79	291,25	0,536	39,36	0,20	12,32	0,064	
	75%	3,188	576,01	310,58	0,429	38,98	0,50	9,59	0,066	
	50%	2,142	387,17	369,82	0,343	38,65	0,15	12,00	0,122	
	25%	1,062	191,91	537,80	0,248	38,32	0,15	7,97	0,162	

Tabel 1.5 Perhitungan Emisi

*“Halaman Sengaja Dikosongkan”*

## Biodata Penulis



Penulis dilahirkan di Probolinggo, 20 Desember 1996, merupakan anak ke 2 dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di beberapa sekolah diantaranya SDN Tisnonegaran II, SMPN 5 Kota Probolinggo, SMA Taruna Dra Zulaeha dan melanjutkan ke jenjang Strata 1 di Departemen Teknik Sistem Perkapalan ITS pada tahun 2015 melalui jalur SBMPTN. Penulis terdaftar dengan NRP 04211540000065. Selama berada di bangku perkuliahan, penulis mengikuti beberapa kegiatan yang diadakan Himpunan Teknik Sistem Perkapalan, dan aktif di organisasi Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknologi Kelautan. Pada tahun keempat perkuliahan, penulis mengambil konsentrasi Tugas Akhir di bidang studi *Marine Power Plant (MPP)* dan juga menjadi Asisten Lab untuk kegiatan praktikum mata kuliah bidang MPP. Pengalaman Kerja Praktek yang pernah ditempuh penulis antara lain di PT Samudra Marine Indonesia dan Pertamina EP Field Poleng Asset IV. Selama semester akhir, penulis banyak menghabiskan waktu untuk menyelesaikan Tugas Akhir di Laboratorium *Marine Power Plant (MPP)* dan Getaran Mesin.

*“Halaman Sengaja Dikosongkan”*