



SKRIPSI – ME184834

**ANALISA SIFAT BIOPELUMAS DARI MINYAK JARAK KEPYAR DAN
EFEKNYA TERHADAP PERFORMA MESIN DIESEL 4 LANGKAH 1
SILINDER**

ARIDHANKA YOURI AL KAHFI
NRP 04211540000073

Dosen Pembimbing :
Beny Cahyono, ST., MT., Ph.D
Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng., Ph.D

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



SKRIPSI – ME184834

Analisa Sifat Biopelumas Dari Minyak Jarak Kepar dan Efeknya Terhadap Performa Mesin Diesel 4 Langkah 1 Silinder

Aridhanka Youri Al Kahfi
NRP 04211540000073

PEMBIMBING I

Nama : Beny Cahyono, ST., MT., Ph.D
NIP : 197903192008011008

PEMBIMBING II

Nama : Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah., M.Eng., Ph.D
NIP : 195605191986101001

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2019

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”



BACHELOR THESIS – ME184834

Analysis of Castor Oil Biolubricant Properties and Its Effect on 4-Stroke 1-Cylinder Diesel Engine

Aridhanka Youri Al Kahfi
NRP : 04211540000073

Supervisor I
Name : Beny Cahyono, ST., MT., Ph.D
NIP : 197903192008011008

Supervisor II
Name : Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah., M.Eng., Ph.D
NIP : 195605191986101001

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

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

Analisa Sifat Biopelumas Dari Minyak Jarak Kepyar dan Efeknya Terhadap Performa Mesin Diesel 4 Langkah 1 Silinder

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat 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

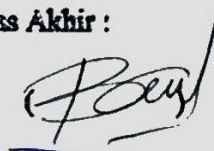
Oleh :

Aridhanka Youri Ai Kahfi

NRP. 0421154000073

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Beny Cahyono, ST., MT., Ph.D



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



“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

Analisa Sifat Biopelumas Dari Minyak Jarak Kepyar dan Efeknya Terhadap Performa Mesin Diesel 4 Langkah 1 Silinder

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada

**Bidang Studi Marine Power Plant
(MPP)**

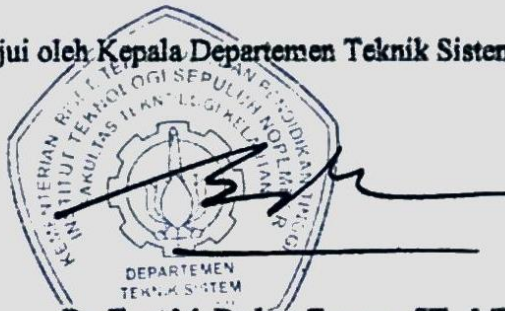
**Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh :

Aridhanka Youri Ai Kahfi

NRP. 0421154000073

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan



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

NIP. 197708022008011007

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

Analisa Sifat Biopelumas Dari Minyak Jarak Kepyar dan Efeknya Terhadap Performa Mesin Diesel 4 Langkah 1 Silinder

Nama Mahasiswa : Aridhanka Youri Al Kahfi
NRP : 0421154000073
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan ITS
Dosen Pembimbing 1 : Beny Cahyono, ST., MT., Ph.D
Dosen Pembimbing 2 : Ir. Agung Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng., Ph.D

Abstrak

Kebutuhan lingkungan untuk mengurangi polusi yang diakibatkan pelumas bekas dari minyak mineral mendorong dikembangkannya biopelumas. Bahan baku biopelumas berasal dari tanaman yang banyak tersedia di lingkungan salah satunya adalah tanaman jarak kepyar. Komposisi terbesar pada minyak jarak kepyar adalah asam risinoleat yang dapat dimanfaatkan dalam pembuatan biopelumas. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui sifat fisika kimia biopelumas dari minyak jarak kepyar, perbandingan properties antara biopelumas dan pelumas mineral setelah dilakukan uji ketahanan pada mesin diesel, dan perbandingan performa antara kedua pelumas selama uji ketahanan. Pengujian dilakukan pada mesin diesel Dongfeng R180 dengan menggunakan bahan bakar Pertamina Dexlite serta pelumas mineral Pertamina Mesran B SAE 40 sebagai pembanding. Hasil pengujian properties biopelumas (viskositas kinematis, indeks viskositas, titik tuang, titik nyala, dan total angka basa) didapatkan bahwa nilai titik nyala belum memenuhi Peraturan Menteri ESDM mengenai standar pelumas yang dipasarkan di dalam negeri. Dari perbandingan properties antara biopelumas dan pelumas mineral setelah dilakukan uji ketahanan selama 200 jam menunjukkan perubahan properties pada kedua pelumas. Peningkatan nilai kekentalan, total angka basa, dan titik nyala akibat terdapat kandungan air pada biopelumas sehingga menimbulkan oksidasi. Kandungan logam besi pada biopelumas setelah uji ketahanan lebih besar jika dibandingkan pelumas mineral. Namun, kandungan aluminium pada biopelumas lebih kecil jika dibandingkan dengan biopelumas. Dari uji performa didapatkan SFOC yang dihasilkan saat menggunakan pelumas mineral pada kondisi *peak torque* lebih rendah 3,1% lebih rendah jika dibandingkan saat menggunakan biopelumas. Rata-rata SFOC pada kondisi *rated speed* saat menggunakan biopelumas lebih rendah 2,3% jika dibandingkan saat menggunakan biopelumas. Rata-rata daya saat menggunakan pelumas mineral lebih rendah 0,72% dibandingkan biopelumas dan torsi yang dihasilkan lebih rendah 0.23% dibandingkan saat menggunakan biopelumas.

Kata Kunci : Biopelumas, Kandungan Logam, Performa Mesin Diesel, Properties Pelumas,

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

Analysis of Castor Oil Biolubricant. Propeties and Its Effect on 4-Stroke 1-Cylinder Diesel Engine

Name Of Student : Aridhanka Youri Al Kahfi
NRP : 0421154000073
Departement : Marine Engineering ITS
Supervisor 1 : Beny Cahyono, ST., MT., Ph.D
Supervisor 2 : Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng., Ph.D

Abstract

Environmental needs to reduce pollution caused by used lubricants from mineral oil encourage the development of biolubricant. One of the biolubricant raw materials from plants available in the environment is the castor plant (*ricinus communis*). The biggest composition in castor oil is ricinoleic acid which can be used in the manufacture of biolubricants. The purpose of this study was to study the physical properties of biolubricants from castor oil, to compare the properties of biolubricants and mineral lubricants after conducting a diesel engines durability test, and comparing performance between both lubricants during durability test. Experiment were carried out on the Dongfeng R180 diesel engine using Pertamina Dexlite fuel and mineral oil Pertamina Mesran B SAE 40 as a comparison. The results of biolubricant properties test (kinematic viscosity, viscosity index, pour point, flash point, and total alkali number) were obtained according to the flash point value not fulfilling the Minister of Energy and Mineral Resources Regulation regarding standard. From properties between biolubricants and mineral lubricants after a 200-hour endurance test there is properties change in both lubricants. Increase the value of viscosity, total number of base, and flash point because it contains water in the biolubricant causing oxidation. The iron content of the biolubricants after the endurance test is greater than mineral lubricants. However, the aluminum content in biolubricants is smaller when compared to biolubricants. From the performance test obtained SFOC which is produced when using mineral oil at peak torque is 3.1% lower than compared when using biolubricants. The average SFOC in the value condition when using biolubricants is 2.3% lower than using biolubricants. The average power when using mineral lubricants is 0.72% lower when compared to biolubricants and the resulting torque is 0.23% lower when compared to using biolubricants.

Keywords: Biolubricant, Engine Performance, Lubricant Properties, Metal Content

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan anugerah-Nya, sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul Analisa Sifat Biopelumas Dari Minyak Jarak Keyar dan Efeknya Terhadap Performa Mesin Diesel 4 Langkah 1 Silinder dengan baik dan tepat waktu. Tugas akhir tersebut diajukan sebagai salah satu persyaratan kelulusan program studi sarjana Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam proses penyelesaian Tugas Akhir dan keberhasilan menempuh program studi sarjana, tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak-pihak di bawah ini, yaitu :

1. Kedua orang tua penulis, Ibu Sri Nastiti dan Bapak Soedirna yang selalu mendukung dan memberikan semangat kepada penulis setiap kegiatan dan aktivitas hingga saat ini.
2. Kedua kakak penulis, Arisena Rajiva Bhaskara dan Raka Kautsar Lahia yang selalu memberikan semangat selama pengerjaan tugas akhir ini.
3. Bapak Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng., Ph.D., dan Bapak Beny Cahyono, ST., MT., Ph.D., selaku dosen pembimbing penulis yang telah membimbing penulis dalam menyelesaikan penelitian Tugas Akhir dan memberikan motivasi untuk terus belajar dan mengembangkan diri.
4. Bapak Prof. Dr. I Ketut Buda Artana, ST., M.Sc. selaku dosen wali yang telah banyak memberikan bimbingan dan pendidikan baik akademik maupun non akademik sehingga kami sebagai mahasiswa wali dapat belajar bekerja keras, pantang menyerah, dan bekerjasama.
5. Bapak Nur Afandi., selaku teknisi andalan dan selalu menemani teman-teman MPP dalam proses pengambilan data.
6. Tim Oiler yaitu Zeka dan Ardi yang selalu menemani saat eksperimen selama 800 jam.
7. Ubur-ubur dan Lambe siskal yang selalu menemani selama pengerjaan laporan skripsi dan menjadi teman diskusi.
8. Selaku teman-teman Laboratorium MPP yang selalu menemani selama penulisan laporan skripsi.

Penulis menyadari bahwa penelitian yang dilakukan dalam tugas akhir ini jauh dari sebuah kesempurnaan, oleh karenanya kritik dan saran sangat terbuka untuk menjadikan karya yang lebih baik dan memberikan kebermanfaatan

Penulis
Juli 2019

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR GRAFIK	xix
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB I	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
BAB II.....	3
TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 Peta Jalan Penelitian (<i>State Of the Art</i>)	3
2.2 Karakteristik Pelumas	4
2.3 Produksi Biopelumas.....	7
2.3.1 Produksi Minyak Biji Jarak Kepyar dan Sifat Minyak Jarak Kepyar	8
2.3.2 Transesterifikasi	9
2.3.3 Epoksidasi	10
2.3.4 Pembukaan Cincin Epoksida.....	10
2.4 Sifat dan Kandungan Logam Pada Pelumas.....	11
2.5 Performa Mesin.....	12
2.5.1 Torsi dan Daya	12
2.5.2 Brake Specific Fuel Consumption.....	13
BAB III.....	15
METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Identifikasi Masalah	16
3.2 Tinjauan Pustaka	17
3.3 Produksi Biopelumas.....	17
3.4 Pengetesan Sifat Biopelumas	20
3.5 Engine Setup	20
3.6 Uji Ketahanan.....	22
3.7 Pengumpulan Data	23
3.8 Analisa Data	23
3.9 Kesimpulan dan Rekomendasi	24
BAB IV	25
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	25
4.1 Properties Biopelumas Minyak Jarak Kepyar	25
4.1.1 Titik Nyala (<i>Flash Point</i>)	26
4.1.2 Viskositas Kinematis.....	26
4.1.3 Titik Tuang (<i>Pour Point</i>).....	26

4.1.4 Indeks Viskositas.....	27
4.1.5 Total Angka Basa (TBN)	27
4.2 Analisa Pelumas Mesin	27
4.2.1 Viskositas Kinematis 40°C & 100°C	28
4.2.2 Indeks Viskositas.....	32
4.2.3 Titik Tuang (<i>Pour Point</i>).....	32
4.2.4. Total Angka Basa (TBN)	33
4.2.5 Titik Nyala (<i>Flash Point</i>)	34
4.2.6 Kandungan Air	35
4.2.7 Analisa Logam	35
4.3 <i>Engine Performance</i>	39
4.3.1 Perbandingan Daya terhadap Waktu Pelumas Pertamina Mesran B SAE 40 dan Biopelumas Minyak Jarak Kepyar	40
4.3.2 Perbandingan Torsi terhadap Waktu Pelumas Pertamina Mesran B SAE 40 dan Biopelumas Minyak Jarak Kepyar	43
BAB V	47
KESIMPULAN DAN SARAN	47
5.1 Kesimpulan	47
5.2 Saran.....	48
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN I.....	51
LAMPIRAN II	61
LAMPIRAN III	61
BIOADATA PENULIS.....	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perbandingan SAE pada oli mesin berdasarkan suhu dan viskositas	6
Gambar 2.2 Minyak Jarak	8
Gambar 2.3 Reaksi Transesterifikasi.....	9
Gambar 2.4 Reaksi Epoksidasi Pada Ikatan Rangkap.....	10
Gambar 2.5 Pembukaan cincin epoksida pada asam dan basa	10
Gambar 2.6 Piston, Ring, dan Liner	12
Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian.....	16
Gambar 3.2 Hasil Proses Esterifikasi	18
Gambar 3.3 Hasil Transesterifikasi	19
Gambar 3.4 Hasil Proses Epoksidasi.....	19
Gambar 3.5 Hasil Reaksi Pembukaan Cincin.....	20
Gambar 3.6 Engine Set Up.....	21
Gambar 4.1 Kondisi <i>Connecting rod</i> saat menggunakan (a) Biopelumas Minyak Jarak Kepyar (b) Pelumas Pertamina Mesran B SAE 40	31
Gambar 4.2 Kondisi Valve Menggunakan (a) Biopelumas Minyak Jarak (b) Pelumas Pertamina Mesran B SAE 40	31
Gambar 4.3 Kondisi piston setelah eksperimen (a) Biopelumas Minyak Jarak (b) Pelumas pertamina mesran B SAE 40	35
Gambar 4.4 Kondisi <i>Journal Bearing</i> setelah eksperimen (a) Pertamina Mesran B SAE 40 (b) Biopelumas Minyak Jarak Kepyar	37
Gambar 4.5 Kondisi Piston Ring setelah eksperimen (a) Pertamina Mesran B SAE 40 (b) Biopelumas Minyak Jarak Kepyar	37
Gambar 4.6 Kondisi <i>piston crown</i> setelah eksperimen (a) Pelumas Pertamina Mesran B SAE 40 (b) Biopelumas Minyak Jarak Kepyar.....	38
Gambar 4.7 IBM SPSS daya pelumas Pertamina Mesran B SAE 40.....	42
Gambar 4.8 IBM SPSS daya biopelumas minyak jarak kepyar	42
Gambar 4.9 IBM SPSS torsi pelumas pertamina mesran B SAE 40.....	45
Gambar 4.10 IBM SPSS torsi biopelumas minyak jarak kepyar	45

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Perbandingan Viskositas Kinematis suhu 40°C.....	29
Grafik 4.2 Perbandingan Viskositas Kinematis suhu 100°C.....	29
Grafik 4.3 Perbandingan Indeks Viskositas Pelumas Pertamina Mesran B SAE 40 dan Biopelumas Minyak Jarak Kepyar	32
Grafik 4.4 Perbandingan Titik Tuang Pelumas Pertamina Mesran B SAE 40 dan Biopelumas Minyak Jarak Kepyar	32
Grafik 4.5 Perbandingan Total Angka Basa Pelumas Pertamina Mesran B SAE 40 dan Biopelumas Minyak Jarak Kepyar	33
Grafik 4.6 Perbandingan Titik Nyala Pelumas Pertamina Mesran B SAE 40 dan Biopelumas Minyak Jarak Kepyar	34
Grafik 4.7 Perbandingan Kandungan Logam Besi (Fe) Pelumas Pertamina Mesran B SAE 40 dan Biopelumas Minyak Jarak Kepyar	36
Grafik 4.8 Perbandingan Kandungan Logam Almunium (Al) Pelumas Pertamina Mesran B SAE 40 dan Biopelumas Minyak Jarak Kepyar	38
Grafik 4.9 Perbandingan Kandungan kromium Pada Pelumas Pertamina Mesran B SAE 40 dan Biopelumas Minyak Jarak Kepyar.....	39
Grafik 4.10 Perbandingan Daya, SFOC <i>Rated Speed</i> vs Waktu.....	Error! Bookmark not defined.
Grafik 4.11 Perbandingan Torsi vs Waktu Uji Ketahanan Mesin 200 Jam	Error! Bookmark not defined.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Karakteristik Fisika Kimia Pelumas Motor Diesel API CC	6
Tabel 2.2 Kandungan asam lemak pada minyak jarak kepyar	8
Tabel 2.3 Properties minyak jarak kepyar (Pengujian Laboratorium Penguji Pusdiklat..)	9
Tabel 3.1 Spesifikasi Mesin	21
Tabel 3.2 Tabel Putaran dan Beban Mesin sesuai dengan metode EMA.....	23
Tabel 4.1 Properties BioPelumas Minyak Jarak Kepyar Berbanding Pelumas Pertamina Mesran B SAE 40	25
Tabel 4.2 Hasil pengujian Pelumas Pertamina Mesran B SAE 40 dan Biopelumas Minyak Jarak Kepyar	28
Tabel 4.3 Batasan Pelumas Dapat Pakai	28
Tabel 4.4 Celah Ring Piston saat menggunakan pelumas pertamina Mesran B SAE 40	30
Tabel 4.5 Kandungan logam pada pelumas.....	36

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pelumas konvensional diformulasikan berdasarkan minyak mineral yang berasal dari minyak bumi. Minyak mineral terdapat beberapa kategori kimia, termasuk parafin, nafta, ar-mati, spesies hetero-atom, dll. Komposisinya ditentukan oleh sumber minyak mentah. Proses penyulingan minyak modern menghilangkan dan memodifikasi struktur molekul untuk meningkatkan sifat-sifat pelumas, tetapi terbatas dalam kemampuannya untuk secara substansial mengubah komposisi minyak awal untuk mengoptimalkan struktur dan komposisi hidrokarbon secara optimal (Salimon et al., 2012).

Minyak nabati yang digunakan sebagai pelumas merupakan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dan lebih murah jika dibandingkan dengan pelumas yang sudah banyak diproduksi saat ini. Keuntungan penggunaan minyak nabati pada mesin pembakaran dalam yaitu, minyak nabati tidak menimbulkan emisi beracun, sumber daya yang bisa diperbaharui, *biodegradability*, dan lebih murah (Basha, 2017).

Biopelumas terurai lebih dari 98% di dalam tanah, tidak seperti sebagian pelumas sintesis dan pelumas mineral yang hanya terurai 20% hingga 40%. Selain itu minyak nabati yang digunakan pada mesin mengurangi hampir semua bentuk polusi udara dibanding penggunaan minyak bumi. Biopelumas dapat dihasilkan dari bermacam-macam jenis tumbuhan dan minyak hewani. (Debbie, 2016).

Minyak jarak kepyar merupakan minyak nabati yang tidak dapat dikonsumsi sebagai bahan baku makanan yang dihasilkan dari biji tanaman jarak yang sedang banyak dilakukan penelitian sebagai minyak pelumas untuk industri. Viskositas yang tinggi karena asam risionelat yang dominan menunjukkan kemungkinan minyak jarak digunakan sebagai pelumas pada mesin.

Penelitian tugas akhir ini akan membahas mengenai kemungkinan minyak nabati (minyak jarak kepyar) menjadi biopelumas yang berdasarkan sifat kimia, fisika, dan kandungan logam setelah dilakukan kerja selama 200 jam pada mesin diesel Dongfeng R180. Analisa data akan dilakukan berdasarkan eksperimen pada biopelumas yang sudah dilakukan pada mesin diesel Dongfeng R180. Hasil eksperimen biopelumas akan dibandingkan dengan pelumas Pertamina Mesran B SAE 40 yang juga dilakukan proses eksperimen yang sama.

1.2 Rumusan Masalah

Untuk mengetahui performa pada penggunaan biopelumas pada mesin diesel diharuskan menganalisis dan meneliti indikator apa saja yang bisa dilihat untuk dibandingkan. Maka rumusan masalah pada tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana sifat fisika kimia pada biopelumas yang terbuat dari minyak jarak kepyar?
2. Bagaimana sifat fisika kimia dan kandungan logam biopelumas setelah digunakan selama 200 jam?

3. Bagaimana perbandingan properties antara biopelumas dari minyak jarak kepyar dengan pelumas mineral pada mesin diesel setelah digunakan selama 200 jam?
4. Bagaimana perbandingan performa antara biopelumas dengan pelumas mineral pada mesin diesel selama 200 jam?

1.3 Batasan Masalah

1. Pelumas pembanding yang digunakan adalah Pertamina Mesran B SAE 40
2. Bahan bakar yang dipakai selama penelitian adalah Pertamina Dexlite
3. Analisa proses performa mesin menggunakan mesin diesel Dongfeng R180 yang berada di Laboratorium Marine Power Plant FTK-ITS
4. Ruang lingkup analisa proses performa mesin dengan mencari nilai daya, torsi, dan *specific fuel oil consumption* (SFOC)
5. Ruang lingkup analisa kandungan logam pada pelumas setelah 200 jam beroperasi adalah Besi (Fe), Aluminium (Al), dan Chromium (Cr)

1.4 Tujuan Penelitian

1. Menganalisa sifat fisika dan kimia pada biopelumas yang terbuat dari minyak jarak kepyar
2. Menganalisa sifat fisika, kimia, dan kandungan logam biopelumas yang terbuat dari minyak jarak kepyar setelah digunakan selama 200 jam.
3. Membandingkan properties biopelumas yang terbuat dari minyak jarak kepyar dengan pelumas mineral setelah digunakan selama 200 jam.
4. Membandingkan performa mesin diesel dengan menggunakan biopelumas dari minyak jarak kepyar dengan pelumas mineral selama 200 jam.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Mengetahui sumber bahan minyak pelumas alternatif yang berasal dari minyak nabati yang dapat digunakan pada mesin diesel.
2. Menambah pengetahuan tentang sumber bahan nabati sebagai pembuatan biopelumas dan cara pembuatan biopelumas dari minyak jarak kepyar.
3. Menambah daya jual biji jarak kepyar jika dapat digunakan sebagai sumber daya terbarukan pengganti minyak bumi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Peta Jalan Penelitian (*State Of the Art*)

Pelumas berbasis mineral dan sintetis banyak digunakan dalam industri saat ini, Sebagian besar pelumas terdiri dari hidrokarbon tetapi juga mengandung beberapa senyawa sulfur dan nitrogen. Karena tingginya tingkat toksisitas pada pelumas dengan bahan dasar kimia, yaitu tidak dapat terurai menimbulkan ancaman konstan terhadap ekologi, air, dan tanah. Saat ini, polusi dan kesehatan lingkungan adalah hal yang penting. Pada zona pelumasan, sebagian besar pelumas yang hilang pada lingkungan 50-60% dari pelumas sintetis. Pelumas tersebut bersentuhan langsung dengan tanah, air dan udara, yang dapat menjadikan ancaman potensial terhadap ekosistem. Sehingga saat ini tantangan terbesar adalah mengembangkan pelumas dengan bahan dasar yang dapat terurai dan ramah lingkungan yang dapat menggantikan minyak mineral dan produk sintetis (Inkerd, 2015)

Penelitian yang dilakukan oleh Syaima et al. (2014) menunjukkan kelebihan biopelumas antara lain dapat diperbarui, biodegradeable, dan ramah lingkungan telah diproduksi dari minyak jarak pagar yang memiliki indeks viskositas yang tinggi, titik nyala yang tinggi, dan volatilitas yang rendah. Penambahan grafit untuk memodifikasi minyak pelumas dapat menghilangkan sebagian besar kotoran dan membuat minyak menjadi lebih bersih. Namun, titik nyala minyak jarak pagar yang telah dimodifikasi terlalu rendah sehingga tidak memenuhi karakteristik pelumas yang telah ditetapkan sebagai standard. Oleh karena itu, penambahan aditif seperti glikol dan kopolimer olefin diperlukan agar pelumas memenuhi karakteristik yang telah ditetapkan.

Secara umum, pelumas berbahan dasar nabati (minyak nabati murni atau yang telah dimodifikasi secara kimia) memiliki pelumasan yang lebih unggul jika dibandingkan dengan pelumas mineral (Krzan, 2010). Hal tersebut dikarenakan molekul FA (*fatty acid*) dalam minyak nabati dapat bereaksi dengan permukaan logam (Bowden dan Tabor, 2001). Minyak nabati yang mengandung FA (*fatty acid*) panjang (C18 atau lebih) menunjukkan sifat anti aus dan pelumasan yang lebih baik jika dibandingkan minyak nabati yang mengandung rantai FA yang lebih pendek. Hal ini disebabkan minyak nabati yang mengandung presentase asam oleat yang tinggi (C18:1) mampu mempertahankan nilai COF (*coefficient of friction*) yang rendah dan menghasilkan keausan yang rendah karena asam oleat membentuk FA *monolayer* yang lebih rapat. Efek dari hal tersebut adalah meminimalkan kontak dan melindungi permukaan logam selama beroperasi (Reeves et al., 2015)

Namun, peningkatan keausan pada komponen juga terjadi pada saat menggunakan biopelumas. Gesekan yang terjadi secara terus menerus akan menyebabkan lapisan pelindung pada logam akan hilang. Peningkatan keausan

juga disebabkan dari efek korosi dan asam lemak bebas yang berasal dari oksidasi (Jagadeesh dan Satish, 2012)

Penelitian yang dilakukan oleh Arizona (2010) mengenai pembuatan biopelumas dari minyak jarak kepyar dengan reaksi modifikasi tiga tahap yaitu transesterifikasi, epoksidasi, dan reaksi pembukaan cincin epoksida didapatkan hasil bahwa metode tersebut dapat menghasilkan minyak lumas dengan karakteristik yang baik tetapi masih dibawah spesifikasi minyak mineral, terutama nilai indeks viskositas.

Penelitian yang dilakukan oleh Mannekote dan Kailas (2011) menguji tingkat degradasi minyak nabati dan efeknya terhadap tribologi pelumas. Pengujian dilakukan selama 100 jam dengan menggunakan mesin 4 tak. Hasil penelitian menunjukkan selama uji ketahanan dilakukan keausan dan stabilitas oksidasi yang terjadi pada pelumas dari minyak kelapa lebih buruk yang merupakan akibat tidak adanya aditif pada minyak. Hasil uji ferrography menunjukkan bahwa setelah pengujian selama 100 jam oli mesin yang berasal dari minyak nabati lebih cepat mengalami kerusakan.

Berdasarkan penelitian Masjuki et al., (1999) perbandingan penggunaan pelumas minyak nabati (kelapa sawit) pada mesin 2 tak menunjukkan hasil yang lebih baik dalam mencegah keausan pada komponen sedangkan pelumas yang berasal dari minyak mineral menunjukan hasil yang lebih baik dalam mengurangi gesekan antar komponen. Selain itu hasil uji viskositas menunjukkan bahwa indeks viskositas yang dimiliki oleh pelumas minyak nabati lebih tinggi jika dibandingkan yang dimiliki oleh pelumas minyak mineral.

Dalam hal performa dan emisi mesin penelitian yang dilakukan Reddy et al. (2014) menunjukkan bahwa pelumas berbahan dasar minyak sawit sebanding dengan pelumas mineral ketika diteliti dengan menggunakan bahan bakar yang sama pada mesin diesel empat langkah satu silinder. Namun, fakta bahwa pelumas yang berasal dari bahan nabati dapat diperbarui dan tidak menimbulkan bahaya bagi lingkungan. Selain itu minyak nabati menunjukkan sifat tribology yang lebih baik menjadikan pelumas yang berasal dari minyak nabati dapat dikembangkan lebih lanjut.

Penelitian yang dilakukan oleh Arumugam et al., (2014) mengenai pengaruh kombinasi biopelumas dan biodiesel berbasis rapessed oil untuk mencari performa dengan variable compression ratio (VCR) pada mesin diesel. Dapat disimpulkan dari penelitian tersebut bahwa mesin diesel dapat dioperasikan dengan kombinasi biopelumas dan biodiesel tanpa modifikasi. Peningkatan brake thermal efficiency (BTE), brake power, dan efisiensi mekanik terjadi ketika menggunakan biopelumas dibandingkan dengan pelumas mineral SAE 20W40.

2.2 Karakteristik Pelumas

Menurut Galbi, (2016) pada sistem pelumasan terdapat beberapa karakteristik yang perlu dilihat agar pelumasan pada mesin dapat berfungsi dengan baik. Karakteristik yang harus dimiliki oleh pelumas agar dapat digunakan oleh mesin yaitu:

- Indeks Viskositas

Indeks Viskositas menunjukkan sensitifitas viskositas pelumas terhadap perubahan suhu. Semakin besar indeks viskositasnya maka ketahanan viskositas akan semakin baik. Hal ini menunjukkan bahwa jika pelumas terjadi perubahan suhu, perubahan kekentalan yang terjadi akan semakin kecil. Indeks viskositas dapat dihitung dengan mengukur kekentalan saat pelumas berada di suhu 40°C dan 100°C dengan menggunakan metode ASTM D 2270 (Stanciu, 2012).

Makin tinggi angka indeks viskositas minyak pelumas, makin kecil perubahan kekentalannya pada penurunan atau kenaikan suhu. Nilai indeks viskositas terbagi atas 3 yaitu, HVI (*High Viscosity Index*), bernilai diatas 80, MVI (*Medium Viscosity Index*) bernilai 40 sampai 80, dan LVI (*Low Viscosity Index*) dibawah 40 (Galbi, 2016).

- Pour Point

Titik tuang didefinisikan sebagai suhu terendah dimana pelumas masih dapat mengalir. Kelemahan daripada pelumas minyak dasar nabati adalah pada suhu yang sedikit rendah, minyak sudah membeku sehingga jika dipakai pada lingkungan yang memiliki daerah dengan suhu rendah akan kurang baik. Pengukuran *pour point* pada pelumas berdasarkan ASTM D5949 (Salimon et al., 2012).

- Flash Point

Titik nyala adalah suhu terendah untuk bahan dapat membentuk uap dan menyala dengan sendirinya. *Flash point* menunjukkan kemudahan pelumas dapat terbakar. Makin tinggi nilai *flash point* menunjukkan pelumas makin sulit terbakar dengan sendirinya saat melumasi komponen. Pengujian titik nyala pada pelumas mengacu pada ASTM D 56-79 (Salimon et al., 2012).

- Total Base Number

Total base number (TBN) menunjukkan tinggi rendahnya ketahanan minyak pelumas terhadap pengaruh pengasaman. Semakin tinggi nilai TBN maka semakin baik kemampuannya menetralkan kontaminan.

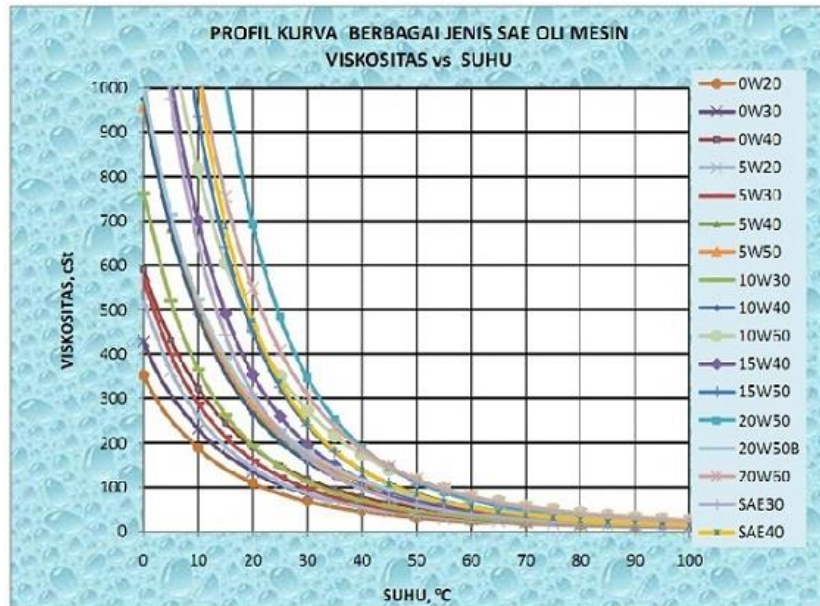
Total base number (TBN) menunjukkan tinggi rendahnya ketahanan minyak pelumas terhadap pengaruh pengasaman. Setelah pelumas dipakai dalam jangka waktu tertentu, nilai TBN akan menurun. Jika angka TBN pada pelumas sudah melewati batas minimal yang sudah ditetapkan maka pergantian perlu dilakukan karena ketahanan dari minyak pelumas tersebut sudah tidak ada (Galbi, 2016)

Asam pada mesin berasal dari panas, oksidasi, dan proses kimia lainnya. Oli dengan TBN yang tinggi juga mampu memberikan perlindungan yang lebih baik terhadap reaksi korosif, serta usia pakai yang lebih lama

- Viskositas Kinematis

Nilai viskositas kinematis pada pelumas dapat mempengaruhi kesempurnaan pelumasan komponen di mesin. Pelumas yang baik diharapkan memiliki viskositas yang cukup rendah pada suhu yang rendah sehingga pada saat mesin baru dinyalakan pelumas akan cepat mengalir. Sebaliknya, pada saat suhu tinggi viskositas harus cukup tinggi agar dapat tetap mengalir dan dapat melumasi komponen mesin dengan baik.

Semakin tinggi nilai viskositas maka semakin besar gaya yang dibutuhkan untuk memindahkan atau memompa pelumas. Viskositas sangat bergantung pada peningkatan dan penurunan suhu seperti yang terdapat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Perbandingan SAE pada oli mesin berdasarkan suhu dan viskositas (Nugroho et al., 2012)

Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral tahun 2006 telah menetapkan bahwa standar mutu spesifikasi pelumas mesin diesel yang dipasarkan di dalam negeri seperti terdapat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Spesifikasi Karakteristik Fisika Kimia Pelumas Motor Diesel API CC (Keputusan Menteri ESDM 2006)

No	Karakteristik	Sat.	Spesifikasi	Metode Uji
1	Viskositas Kinematik pada 100°C	cSt	Sesuai SAE J300,Des 1999	ASTM D 445
2	Indeks Viskositas	-	Sesuai Tabel A	ASTM D 2270
3	Viskositas pada suhu Rendah	cP	Sesuai SAE J300,Des 1999	ASTM D 5293
4	Viskositas Pada Suhu Tinggi	cP	Sesuai SAE J300,Des 1999	ASTM D 4683
5	Titik Nyala COC	°C	Min 200	ASTM D 92
6	Angka Basa Total	Mg KOH/g	Min. 6,0	ASTM D 2896
7	Kandungan Abu Sulfat	%berat	Maks. 0,7	ASTM D 874
8	Kandungan Metal Ca Mg Zn	%berat	Sesuai Spes Produsen Sesuai Spes Produsen Min 0,0400	AAS (ASTM D 4628)

No	Karakteristik	Sat.	Spesifikasi	Metode Uji
9	Tendensi/Stabilitas Pembusaan Seq. I Seq II Seq III	MI	Maks. 20/0 Maks. 100/0 Maks. 20/0	ASTM D 892
10	Titik Tuang (Multigrade)	°C	Maks (Suhu CCS) – (3°C)	ASTM D 97
Untuk pengawasan disamping karakteristik tersebut diatas atau yang disepakati wajib ditambah karakteristik berikut:				
11	Sifat Penguapan, Noack	%berat	Maks 15	ASTM D 5800 /CEC L- 40-A-93
12	Korosi Bilah Tembaga	-	Maks 1 b	ASTM D 130

2.3 Produksi Biopelumas

Jarak kepyar (*Ricinus communis* L.) adalah tanaman sumber minyak nabati dari famili Euphorbiaceae yang dapat tumbuh dan berkembang baik pada lahan kering dan marginal. Saat ini jarak kepyar semakin populer karena tuntutan pemenuhan kebutuhan bahan bakar minyak dan pelaksanaan program pembangunan bersih. Selain sebagai penghasil biodiesel, minyak jarak kepyar (castor oil) juga merupakan sumber bahan kimia industri dan bermanfaat baik dalam merespon peningkatan kadar CO₂ di udara dengan meningkatkan laju pertumbuhan dan hasilnya. (Santoso et al., 2014).

Minyak jarak yang dijadikan sebagai bahan dasar pelumasan, dicampurkan dengan aditif untuk mengurangi keausan dan gesekan antar komponen secara signifikan akan mengurangi energi yang hilang saat pembakaran akibat gesekan dengan demikian dapat meningkatkan efisiensi mekanis yang rendah yang menjadi salah satu kelemahan mesin pembakaran dalam. Selain itu, penggunaan minyak jarak sebagai pelumas dapat menjadikan pelumas yang ramah lingkungan dan biaya produksi yang lebih efektif.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Bongfa et al., (2015) menunjukkan tribologi minyak jarak mempunyai hasil yang baik. Jika sifat-sifat lain dari minyak ditingkatkan agar dapat memenuhi persyaratan sebagai pelumas mesin pembakaran dalam, pelumas yang berasal dari minyak jarak dapat menjadi pelumas yang lebih baik daripada pelumas yang berasal dari minyak mineral.

Menurut Weiss (1983) mengenai karakteristik minyak jarak kepyar yaitu minyak jarak kepyar (*ricinus communis*) berwarna kuning pucat, tetapi setelah dilakukan proses *refining* dan *bleaching* warna tersebut hilang sehingga menjadi hampir tidak berwarna. Minyak jarak kepyar (*ricinus communis*) ini tidak mudah berbau. Minyak jarak kepyar (*ricinus communis*) larut dalam alkohol, eter, klorofom, dan asam asetat glasial. Minyak jarak kepyar (*ricinus communis*) tidak larut dalam minyak mineral. Minyak jarak kepyar (*ricinus communis*) hampir keseluruhan berada dalam bentuk trigliserida, terutama resinolenin dengan asam risinoleat sebagai komponen asam lemaknya).



Gambar 2.2 Minyak Jarak (Hellosehat.com diakses pada 10 Februari 2019)

Dalam memproduksi biopelumas, penting untuk mengetahui karakteristik dan sifat dari minyak nabati yang akan digunakan untuk mengetahui perlakuan dan proses untuk menghasilkan biopelumas yang baik. Terdapat beberapa tahap yang dibutuhkan untuk menjadikan minyak nabati menjadi biopelumas yang dapat digunakan pada mesin.

2.3.1 Produksi Minyak Biji Jarak Kepyar dan Sifat Minyak Jarak Kepyar

Pengolahan minyak jarak dihasilkan dengan mengekstrak biji keringnya, baik secara mekanis maupun kimiawi. Ekstraksi mekanis dengan pengempaan, (*pressing*) baik secara batch atau kontinu tidak membutuhkan teknologi proses yang rumit (Niken & Djajeng, 2011)

Minyak yang diperoleh dari biji tanaman jarak kepyar disebut juga dengan *Castor Oil*. Seperti yang terdapat pada tabel 2.2 minyak jarak kepyar mengandung trigliserida asam-asam lemak, terutama asam risionelat dengan konsentrasi 89,5%. Berat kering, sehingga disebut sebagai trigliserida risinoleat (Atmanegara, 2010).

Tabel 2.2 Kandungan asam lemak pada minyak jarak kepyar

No.	Nama	Rumus Molekul	Kandungan%
1	Asam Risionelat	$C_{18}H_{34}O_3$	89,5
2	Asam Dihidroksi-stearat	$C_{18}H_{36}O_4$	1,67
3	Asam Palmitat	$C_{16}H_{32}O_2$	1,0
4	Asam Oleat	$C_{18}H_{34}O_2$	3,0
5	Asam Stearat	$C_{18}H_{36}O_2$	1,0
6	Asam Linoleat	$C_{18}H_{32}O_2$	4,2
7	Asam Eikosonat	$C_{20}H_{40}O_2$	0,3
8	Asam Linolenat	$C_{18}H_{30}O_2$	0,3

Minyak nabati atau lemak tidak dapat digunakan langsung sebagai pelumas karena minyak nabati tidak stabil terhadap reaksi oksidasi. Hal ini terjadi karena adanya ikatan rangkap pada karboksilat yang terikat pada

minyak. Hasil reaksi oksidasi adalah senyawa tidak dapat diprediksi adalah molekul-molekul kecil yang mudah menguap. Untuk menjadikan minyak nabati menjadi pelumas yang baik ada beberapa tahap yang bisa dilakukan (Rahardiningrum et al., 2016). Pada tabel 2.3 dapat dilihat properties dasar minyak jarak kepyar yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan pelumas.

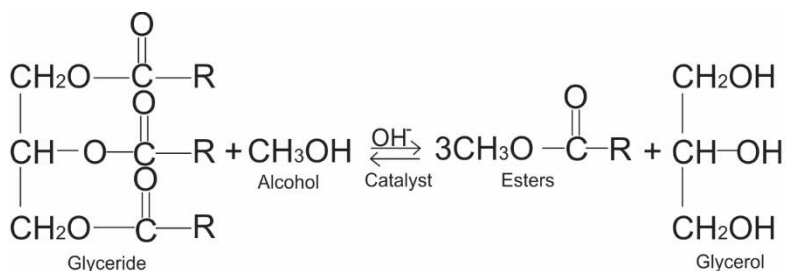
Tabel 2.3 Properties minyak jarak kepyar (Pengujian Laboratorium Penguji Pusdiklat Migas, 2019)

No.	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil Analisis	Metode
1	Flash Point COC	°C	295	ASTM D 92
2	Viskositas Kinematis pada 40°C	mm ² /s	248.4	ASTM D 445
3	Viskositas kinematis pada 100°C	mm ² /s	18.96	ASTM D 445
4	Viskositas Index	-	84	ASTM 2270
5	Pour Point	°C	-30	ASTM D 97

2.3.2 Transesterifikasi

Transesterifikasi didefinisikan sebagai reaksi dimana molekul trigliserida bereaksi dengan tiga mol methanol menghasilkan gliserol dan campuran ester metil asam lemak. Transesterifikasi metil ester yang berasal dari minyak nabati dengan poliol adalah proses kebalikan dari reaksi transesterifikasi, dimana gliserol digantikan oleh poliol. Keuntungan dari penggunaan poliol daripada gliserol adalah tidak adanya hidrogen serta dapat meningkatkan stabilitas termal pelumas pada suhu tinggi dengan mencegah polimerisasi untuk membentuk asam lemak bebas (Heikal et al., 2017).

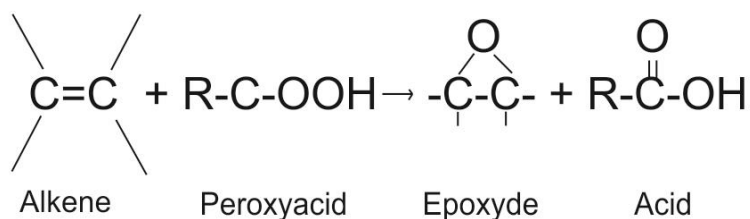
Reaksi transesterifikasi dengan katalis basa biasanya menggunakan NaOH, KOH, atau natrium metoksida. Alkohol yang digunakan adalah alcohol alifatik monohidrat baik primer maupun sekunder dengan atom karbon antara 1 sampai 8. Seperti yang terdapat pada gambar 2.3 reaksi terdiri dari reaksi bolak-balik, dimana trigliserida dikonversi secara bertahap menjadi digliserida, monogliserida, dan gliserol (Atmanegara, 2010).



Gambar 2.3 Reaksi Transesterifikasi (Abdalla, 2018)

2.3.3 Epoksidasi

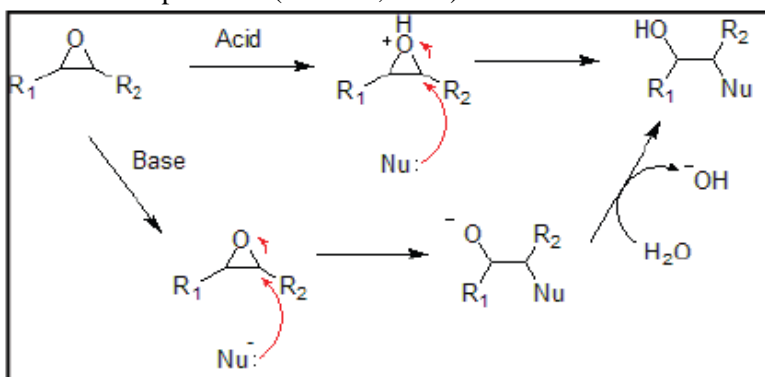
Sebuah senyawa alkena dapat dioksidasi menjadi epoksida melalui reaksi epoksidasi. Reaksi ini melibatkan asam peroksida (H_2O_2) dan katalis asam organik. Campuran asam peroksida dengan katalis asam akan membentuk asam peroksi dan akan menyerang ikatan rangkap membentuk ester siklis yang dikenal dengan epoksida atau oksirana. Gugus oksirana cukup reaktif, cincin akan mudah mengalami reaksi pembukaan terutama saat dalam keadaan asam. Pada gambar 2.4 terdapat reaksi epoksidasi pada ikatan rangkap. Reaksi yang terjadi akan terbagi menjadi 2 tahap. Yang pertama adalah oksidasi asam format menjadi asam peroksida format oleh H_2O_2 , sehingga ikatan rangkap karbon diadisi oleh oksigen dari asam peroksida format (Arizona, 2010)



Gambar 2.4 Reaksi Epoksidasi Pada Ikatan Rangkap (Atmanegara, 2010)

2.3.4 Pembukaan Cincin Epoksida

Pembukaan cincin adalah reaksi khas epoksida, berkaitan dengan kereaktifan cincin epoksida. Polaritas ikatan C-O, bersama-sama tarikan cincin ini, mengakibatkan reaktifitas epoksida yang lebih tinggi dibanding reaktifitas eter lainnya. Reaksi pembukaan cincin dapat dilihat pada gambar 2.5. Pembukaan cincin menghasilkan produk yang lebih stabil dan berenergi lebih rendah. Reaksi pembukaan cincin dapat berlangsung baik dalam suasana asam maupun basa (Arizona, 2010).



Gambar 2.5 Pembukaan cincin epoksida pada asam dan basa (Arizona,2010)

2.4 Sifat dan Kandungan Logam Pada Pelumas

Perubahan yang terjadi pada minyak pelumas yang digunakan pada mesin merupakan hasil pelumasan yang dilakukan pada suhu yang tinggi. Pencampuran kotoran akibat pelumasan pada mesin dapat mengubah struktur pada minyak pelumas. Minyak pelumas akan mengalami perubahan viskositas dengan adanya perubahan suhu. Ketika minyak pelumas berada pada suhu yang rendah, maka viskositas akan tinggi dan ketika minyak pelumas berada pada suhu yang panas, maka viskositas akan rendah dan lebih cair (Wagner, n.d.)

Minyak pelumas yang telah digunakan pada waktu kerja tertentu harus dilakukan pergantian dikarenakan kekentalan minyak pelumas yang telah berubah dan seiring dengan waktu pemakaian, warna minyak pelumas juga akan berubah. Tidak hanya menyebabkan keausan logam di dalam mesin, tetapi juga menyebabkan endapan atau kerak akibat terlalu banyak bahan pengotor dalam minyak pelumas (Diatniti et al., 2015).

Perbedaan minyak pelumas baru dan bekas adalah kandungan logam yang terdapat pada minyak pelumas. Logam berasal dari bahan bakar dan keausan komponen pada mesin. Minyak pelumas mengandung konsentrasi tinggi Pb, Zn, Ca, Ba, dan Mg dan konsentrasi yang lebih rendah pada Fe, Na, Cu, Al, Cr, Mn, K, Ni, Sn, Si, B dan Mo. Konsentrasi logam pada minyak pelumas akan meningkat berbanding dengan lamanya waktu operasi dan jumlahnya bergantung pada jenis bahan bakar dan kondisi mesin (Al-Nozili et al., 2014).

Ali dan Hannah (1996) menyatakan *engine wear* dievaluasi berdasarkan konsentrasi dari kandungan logam yang terdapat pada minyak pelumas. Kandungan logam yang terdapat pada minyak pelumas setelah engine dioperasikan selama 200 jam adalah Tembaga (Cu), besi (Fe), Cromium (Cr), Timah (Pb), Alumunium (Al), Silicon (Si) dan Sodium (Na).

Sumber utama dari kandungan logam ini yang berhasil diidentifikasi adalah bantalan (bearing), ring, silinder, dan bagian-bagian mesin yang bergerak lainnya yang terbuat dari besi tuang. Menurut Evans (2010) terdapat beberapa elemen dan kontaminasi logam pada minyak pelumas. Beberapa elemen yang dapat menjadi kontaminan yaitu :

1. Besi (Fe)

Pada mesin, *cylinder liner* dan *crankshaft* merupakan komponen utama yang digunakan bersama dengan timing gear dan katup. Besi juga bisa dapat menjadi kontaminan. Ketika besi bereaksi dengan air dan oksigen maka dapat terbentuk karat yang dapat menimbulkan kontaminasi dan degradasi komponen.

2. Alumunium (Al)

Sumber alumunium pada mesin terdapat pada piston. Mayoritas piston terbuat dari bahan alumunium. Alumunium juga dapat menjadi kontaminan yang berasal dari gemuk. Sehingga jika gemuk dipindahkan ke komponen yang basah maka kontaminan alumunium akan terbentuk.

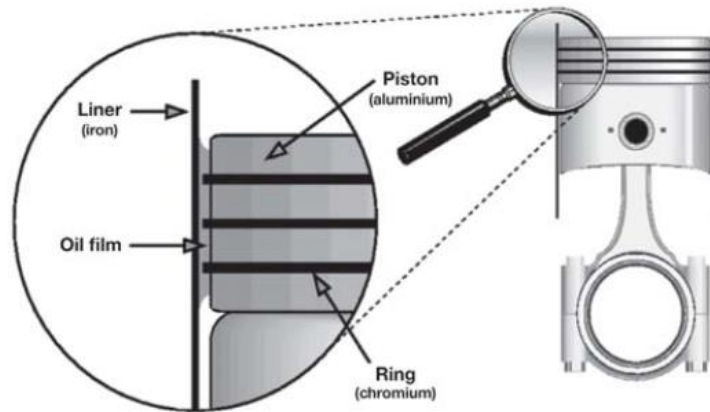
3. Chromium (Cr)

Pada mesin, *ring* pada piston terbuat dari chromium atau dilapisi dengan logam. Poros, roda gigi, dan bantalan dapat mengandung chromium sebagai logam campuran dengan besi untuk membentuk baja tertentu. Chromium bisa

menjadi kontaminan. Besi, aluminium dan chromium sering dijadikan sebagai *sample* pada pengetesan pelumas karena pada bagian mesin menggunakan elemen-elemen tersebut sebagai bahan dasarnya seperti yang terdapat pada gambar 2.6

4. Tembaga (Cu)

Tembaga memiliki banyak sumber logam aus yang juga dapat menjadi kontaminan. Tingkat tembaga yang tinggi dapat larut dari pendingin minyak dan menjadikan sebagai kontaminan. Komponen sistem pendingin sering dibuat dari tembaga dan ini dapat larut langsung ke dalam pelumas.



Gambar 2.6 Piston, Ring, dan Liner (Technical Bulletin,2010)

2.5 Performa Mesin

2.5.1 Torsi dan Daya

Torsi merupakan indikator untuk mengukur kemampuan mesin melakukan kerja dan memiliki satuan unit N-m atau lbf-ft. Torsi dihasilkan dari jarak dan kekuatan dan untuk menghitung torsi adalah perkalian antara tenaga dan jarak. Mesin dari kendaraan menghasilkan torsi dan menggunakannya untuk menggerakkan crankshaft. Jadi, torsi adalah tenaga yang digunakan pada jarak tertentu.

$$T = \frac{P \times 60000}{2\pi \times rpm} \quad (1)$$

Dimana : T = Torsi benda berputar

P = Daya

Rpm = putaran mesin diesel

Daya adalah sebuah kemampuan untuk mengusung sebuah beban dalam periode/rentang waktu tertentu. Daya didapatkan dengan rumus pada (3).

$$P = \frac{v \times i \times \cos \theta}{eff \ gen \times eff \ slip} \quad (2)$$

Dimana : P = Daya (Watt)

V = Voltase (Volt)

$$\cos \alpha = 0.9$$

Eff Gen = Efisiensi Generator

Eff Slip = Efisiensi Slip

2.5.2 Brake Specific Fuel Consumption

Brake specific fuel consumption (BSFC) adalah laju aliran bahan bakar yang digunakan per unit keluaran usaha yang diukur pada test bed (Klel, 1998). BSFC didapatkan dengan membagi total *flow mass fuel rate* (diesel dan gas alam) dengan *engine shaft power* seperti yang terdapat pada persamaan (16).

$$bsfc = \frac{mf}{P} \quad (3)$$

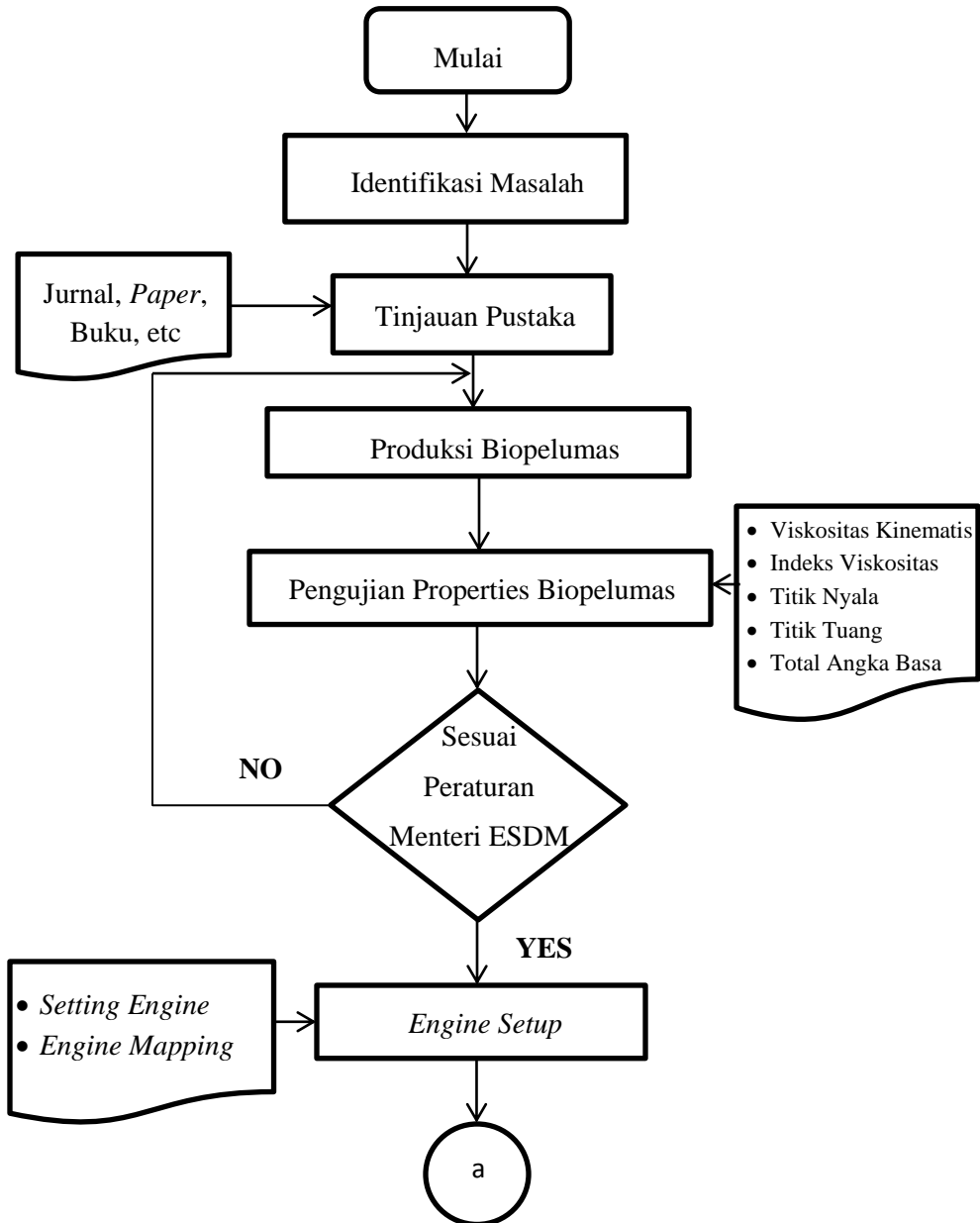
Dimana : P = daya (kW)

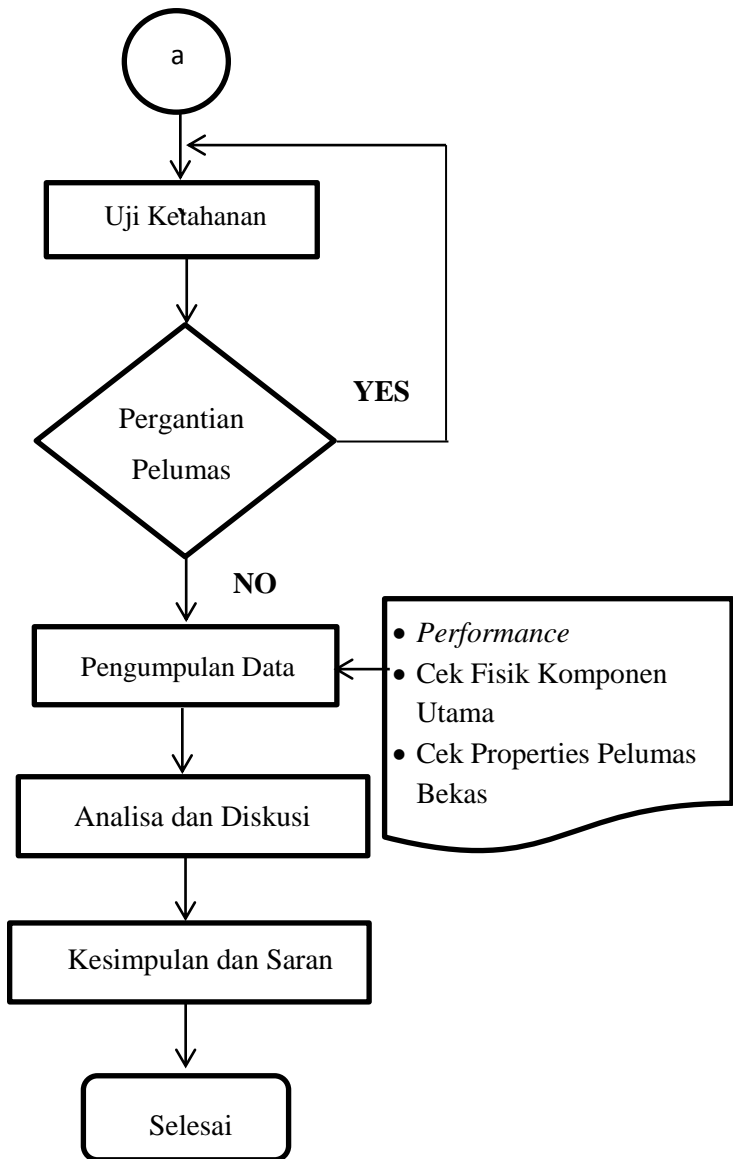
mf = mass flow rate (gr/h)

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen. Eksperimen yang dilakukan mempunyai tujuan yaitu mengetahui kondisi pelumas setelah dipakai pada mesin diesel selama 200 jam kerja. Pada gambar 3.1 dapat dilihat diagram alur yang akan dilakukan selama penelitian.





Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian

3.1 Identifikasi Masalah

Penelitian dimulai dengan menentukan masalah dan identifikasi pada topik yang ada. Identifikasi masalah pada penelitian ini adalah bagaimana membuat pelumas nabati yang berasal dari minyak jarak kepyar dan perbandingan performa dengan menggunakan pelumas Pertamina Mesran B SAE 40 dengan waktu pengoperasian selama 200 jam yang mengacu pada tes ketahanan yang ditetapkan oleh Engine Manufacturer Association (EMA).

3.2 Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka bertujuan untuk mendukung penelitian yang sudah dilakukan dengan mempelajari dasar teori untuk mendapatkan solusi untuk menjawab rumusan masalah yang terdapat pada Bab 1. Tinjauan pustaka didapatkan dari sumber yang berbeda, seperti : buku, jurnal, dan skripsi yang sudah di validasi. Penelitian mengacu pada tinjauan pustaka mengenai sifat fisika kimia dan kandungan logam pelumas setelah dilakukan pengujian dan performa pada mesin diesel yaitu *specific fuel consumption*, daya, dan torsi.

3.3 Produksi Biopelumas

Pada tahap ini, bahan dan peralatan yang dibutuhkan untuk eksperimen disiapkan. Persiapan yang dilakukan meliputi produksi pelumas yang berasal dari minyak jarak kepyar, analisa karakteristik pelumas, eksperimen performa mesin selama 200 jam untuk mengetahui performa mesin maupun kondisi pelumas. Peralatan yang dipersiapkan untuk produksi biopelumas untuk mendukung proses esterifikasi, transesterifikasi, epoksidasi, dan reaksi pembukaan cincin epoksida. Bahan dan peralatan yang dibutuhkan yaitu :

1. Minyak jarak kepyar
2. H_2SO_4
3. Methanol (CH_3COH)
4. H_2O_2
5. KOH
6. Gelas Ukur
7. Asam Format
8. Aquadest
9. 1,2 Propanediol
10. Asam p-toluenasulfonat

Tahapan proses yang dilakukan dalam proses pembuatan minyak jarak kepyar antara lain:

1. Proses Esterifikasi

Proses esterifikasi adalah proses yang dilakukan untuk menurunkan kandungan asam lemak bebas yang terkandung dalam minyak. Pada proses esterifikasi menggunakan katalis asam yang dicampur dengan metanol. Berikut adalah tahapan-tahapan dari proses esterifikasi antara lain:

1. Siapkan larutan dengan perbandingan volume methanol yaitu dengan rasio molar 20:1 terhadap minyak yang digunakan dan siapkan asam sulfat (H_2SO_4) sebanyak 1,5% dari volume minyak.
2. Masukkan minyak jarak kepyar kedalam wadah kemudian dipanaskan hingga suhu $35^{\circ}C$.
3. Campurkan methanol kedalam minyak jarak kepyar dan kemudian diaduk selama 5 menit.
4. Masukkan H_2SO_4 kedalam wadah dan kemudian aduk hingga 60 menit dengan suhu terjaga $35^{\circ}C$.
5. Setelah itu pindahkan minyak yang sudah dipanaskan tadi ke wadah terpisah.
6. Setelah terlihat separasi lakukan pemisahan dengan cara dekantasi.



Gambar 3.2 Hasil Proses Esterifikasi

2. Proses Transesterifikasi

Proses transesterifikasi adalah pengkonversian triglesirida minyak jarak kepyar yang sudah diproses esterifikasi menjadi metil ester dan gliserol. Proses transesterifikasi menggunakan katalis basa yang dicampur dengan metoksid. Katalis basa yang digunakan pada proses transesterifikasi adalah KOH. Tahapan-tahapan dari proses transesterifikasi adalah :

1. Buat larutan metoksid terlebih dahulu dengan perbandingan volume metanol yaitu dengan rasio molar 6:1 terhadap minyak yang digunakan dan dicampur dengan katalis basa KOH sebanyak 1% dari bobot minyak.
2. Masukkan minyak hasil esterifikasi kedalam wadah lalu panaskan minyak hasil esterifikasi hingga suhu 55-60°C.
3. Tambahkan larutan metoksid kedalam minyak hasil esterifikasi lalu aduk selama 60 menit dengan suhu terjaga yaitu 55-60°C.
4. Setelah itu pindahkan minyak yang sudah dipanaskan tadi ke wadah terpisah dan diamkan selama 24 jam.
5. Setelah terlihat separasi antara minyak dan gliserol yang mengendap.
6. Setelah terjadi separasi dilakukan separasi dan pencucian dengan menggunakan aquades



Gambar 3.3 Hasil Transesterifikasi

3. Epoksidasi

Epoksidasi dilakukan dengan tujuan untuk memperbaiki sifat minyak jarak kepyar agar tidak mudah teroksidasi. Pada proses epoksidasi langkah yang dilakukan yaitu :

1. Campurkan larutan H_2O_2 dengan perbandingan mol antara H_2O_2 dengan hasil *castor methyl ester* sebesar 1.5:1 dengan asam format
2. COME dipanaskan sampai suhu $60^\circ C$
3. Setelah COME dipanaskan sampai suhu $60^\circ C$, campuran H_2O_2 dengan asam format yang telah dicampurkan dimasukkan secara perlahan ke dalam reactor sambil diaduk
4. Suhu dijaga pada $65^\circ C$
5. Reaksi dijalankan selama 1,5 jam
6. Diamkan larutan sampai terjadi separasi dan kemudian dipisahkan



Gambar 3.4 Hasil Proses Epoksidasi

4. Reaksi Pembukaan Cincin Epoksida

Reaksi pembukaan cincin epoksida dilakukan untuk memperbaiki properties daripada Biopelumas minyak jarak kepyar. Pada reaksi pembukaan cincin epoksida dilakukan langkah-langkah yaitu:

1. Katalis PTSA dilarutkan kedalam larutan diol untuk memudahkan reaksi.
2. Minyak hasil reaksi epoksidasi dipanaskan sampai dengan suhu 55°C.
3. Larutan campuran PTSA dalam diol dimasukkan perlahan sambil dilakukan pengadukan.
4. Suhu reaksi dijaga pada suhu 60°C diaduk dengan putaran cepat.
5. Reaksi dijalankan selama 6 jam.



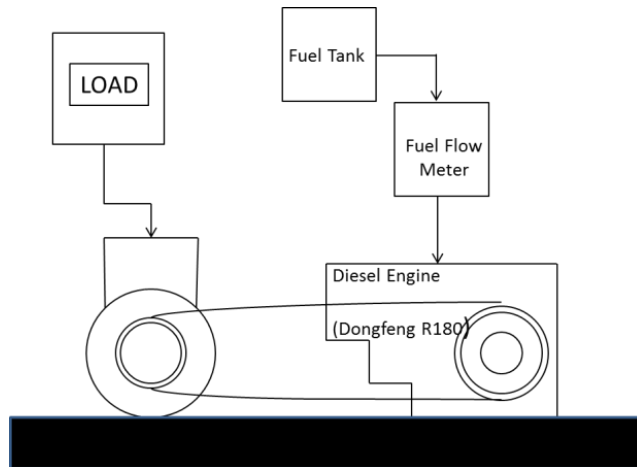
Gambar 3.5 Hasil Reaksi Pembukaan Cincin

3.4 Pengetesan Sifat Biopelumas

Setelah selesai dilakukan proses produksi, pengetesan biopelumas dilakukan untuk melihat sifat pada biopelumas yang dihasilkan dari minyak biji jarak kepyar sesuai dengan standar pelumasan mesin diesel yang mengacu pada Peraturan Menteri ESDM No.053 Tahun 2006 tentang Wajib Daftar Pelumas yang Dipasarkan di Dalam Negeri. Pengetesan dilakukan dengan mengambil 100ml pelumas yang digunakan sebagai sample pengujian. Beberapa pengetesan yang dilakukan dengan metode yang berbeda antara lain : Indeks viskoitas, viskositas kinematis pada suhu 40°C dan 100°C, titik nyala, titik tuang, dan total base number (TBN).

3.5 Engine Setup

Tahap ini merupakan salah satu yang dibutuhkan sebelum dilakukannya penelitian. *Engine Setup* dilakukan untuk mengetahui kondisi mesin yang akan digunakan eksperimen. Pada saat *engine setup* akan dilakukan pra eksperimen berupa *engine mapping* untuk menentukan beban dan putaran saat uji ketahanan mesin. Saat dilakukannya *engine mapping* akan dilihat beban dan putaran mesin pada *low idle*, *high idle*, *rated speed*, dan *peak torque*. Selain itu, tujuan dilakukannya persiapan sebelum eksperimen adalah untuk memasang peralatan pendukung yang menunjang saat pengambilan data dilakukan untuk dilakukannya analisis. Pada gambar 3.6 terdapat *engine setup* yang akan dirancang.



Gambar 3.6 Engine Set Up

Mesin yang digunakan untuk pengambilan data yaitu mesin Dongfeng R180. Spesifikasi mesin Dongfeng R180 yang dipakai untuk dilakukan eksperimen dapat dilihat pada tabel 3.1. Peralatan penunjang yang digunakan untuk mengambil data adalah sebagai berikut:

1. Dongfeng R180
2. Pertamina Mesran B SAE 40 sebagai pelumas pembanding
3. Stopwatch
4. Tachometer
5. Electric Dynamometer
6. Amperemeter
7. Control Panel
8. Multimeter
9. Load (lamp)

Tabel 3.1 Spesifikasi Mesin

Brand	:	Dongfeng
Model	:	R180
Type	:	Inline, 1 Silinder, 4 Langkah, Direct Injection
Bore x Stroke	:	80 x 80 mm
Piston Displacement	:	402 cc
Daya/Putaran (RPM)	:	5,6 kW/2600 RPM
Torsi Maksimum	:	3.44 kgm/1600 RPM
Kapasitas Pelumas	:	2,5 Liter
Jenis Pelumas	:	SAE 40 kelas CC atau CD

Variabel yang akan digunakan saat eksperimen dan analisa data hasil pelumas antara lain :

A. Variabel Bebas (Independen)

i. Minyak Pelumas

- Pelumas Minyak Nabati (Minyak Jarak Kepyar)
- Pertamina Mesran B SAE 40

- ii. Uji Ketahanan
 - Low Idle, selama 30 menit
 - High Idle, selama 30 menit
 - Rated Power, selama 60 menit
 - Peak Torque, selama 60 menit
- B. Variabel Kontrol
 - Bahan Bakar (Pertamina Dexlite)
- C. Variabel Tergantung (Dependent)
 - i. Sifat Fisika & Kimia Pelumas
 - Indeks Viskositas
 - Viskositas Kinematis (40°C dan 100°C)
 - Flash Point
 - Pour Point
 - Total Based Number (TBN)
 - ii. Kandungan Logam Pelumas
 - Besi (Fe)
 - Aluminium (Al)
 - Chromium (Cr)
 - iii. Performa
 - Specific Fuel Consumption (SFOC)
 - Daya
 - Torsi

3.6 Uji Ketahanan

Setelah tahapan produksi biopelumas dan *engine setup* selesai, dilakukan pengambilan data dengan metode eksperimen. Eksperimen akan dilakukan sesuai dengan metode yang telah di rekomendasikan oleh *Engine Manufacturer Assosiaton* (EMA) dan waktu pengujian selama 200 jam mesin dengan kondisi yang dirokemendasikan.

Eksperimen akan dilakukan di Laboratorium *Marine Power Plant* (MPP) Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS. Eksperimen yang akan dilakukan adalah :

1. Eksperimen yang dilakukan untuk mengetahui performa pada mesin antara lain *Specific Oil Consumption* (SFOC), daya mesin, dan torsi mesin selama tes ketahanan mesin dilakukan. Eksperimen akan dilakukan dalam 4 kondisi yang telah direkomendasikan oleh EMA selama 200 jam (C. L. Peterson et al., 1999). Adapun 4 kondisi yang direkomendasikan oleh EMA adalah :
 - Low idle adalah motor diesel dihidupkan tanpa beban dimana kecepatannya adalah kecepatan minimum motor dapat hidup yang direkomendasikan oleh pabrikan mesin untuk mencapai kondisi idle. Pada kondisi ini mesin dihidupkan selama 30 menit
 - High idle adalah motor diesel dioperasikan dengan besarnya beban 25% dan maksimum torsi dan kecepatan diatur sebesar 90% rated speed. Langkah ini dilakukan selama 30 menit.

- Rated power speed adalah mesin diesel dioperasikan pada kecepatan maksimum sesuai dengan spesifikasi mesin dan beban diatur hingga putaran menjadi *specific rated speed* dari mesin. Langkah ini dilakukan selama 60 menit.
- Peak torque speed yaitu pengoperasian mesin pada kecepatan penuh dan beban diberikan hingga putaran mesin menjadi putaran pada torsi maksimal. Langkah ini dilakukan selama 60 menit.

Engine mapping yang dilakukan pada tahapan *engine setup* menghasilkan putaran dan *dummy load* yang akan digunakan pada uji ketahanan mesin diesel. Hasil dilakukannya *engine mapping* dapat dilihat pada tabel 3.2

Tabel 3.2 Tabel Putaran dan Beban Mesin sesuai dengan metode EMA

No.	Kondisi	Putaran	<i>Dummy Load</i>
1	<i>Low Idle</i>	850	0
2	<i>High Idle</i>	1980	750
3	<i>Rated Speed</i>	2200	2500
4	<i>Peak Torque</i>	1900	3000

2. Sifat minyak dan kandungan logam pelumas pertamina mesran B SAE 40 dan biopelumas minyak jarak keypar diperiksa saat mesin sudah beroperasi selama 200 jam. Perubahan sifat minyak pelumas mempengaruhi performa pada mesin. Penelitian mengenai sifat pelumas dilakukan dengan metode yang telah ditetapkan.
3. Dokumentasi selama eksperimen dilakukan
Eksperimen dilakukan dengan menggunakan 2 minyak pelumas yang berbeda, yaitu: Pelumas Mineral (Pertamina Mesran B SAE 40) dan Biopelumas dari Minyak Jarak Keypar.

3.7 Pengumpulan Data

Eksperimen yang dilakukan menghasilkan data yang akan dilakukan analisa data antara lain :

1. Data performa mesin meliputi : *specific fuel oil consumption* (SFOC), daya, dan torsi pada mesin Dongfeng R180 selama pengambilan data 200 jam.
2. Sifat fisika kimia pelumas dan kandungan logam yang terdapat pada kedua pelumas setelah 200 jam mesin dinyalakan
3. Data dokumentasi selama eksperimen berlangsung.

3.8 Analisa Data

Analisa data dilakukan setelah semua data mengenai performa pada mesin diesel Dongfeng R180 diambil saat melakukan eksperimen yaitu perbandingan performa mesin Dongfeng R180 antara biopelumas minyak jarak keypar dengan pelumas mineral pertamina mesran B SAE 40, sifat fisika kimia, dan kandungan logam pada 2 pelumas tersebut. Proses analisa data performa di validasi dengan menggunakan metode box plot dengan menggunakan perangkat lunak IBM SPSS.

Metode box plot digunakan untuk mengetahui data extreme (*oulier*) pada suatu data. Box plot dapat digambarkan secara horizontal maupun vertikal. Pada

diagram box plot secara visual menunjukkan pusat data, distribusi, rata-rata, median (Q_2), Q_1 , Q_3 , dan outlier. Data dapat dikatakan outlier jika data tersebut terletak diluar $1.5 \times$ jarak antar quartile. Sehingga pada penelitian ini digunakan metode ini untuk memvalidasi jika terdapat data performa mesin yang berada pada kondisi *outlier*.

3.9 Kesimpulan dan Rekomendasi

Pada tahap ini, setelah semua tahap dilakukan, selanjutnya diberikan kesimpulan akhir mengenai eksperimen dan analisa data yang telah dilakukan. Penulis berharap dari eksperimen yang dilakukan dapat memberikan jawaban dan solusi dari rumusan masalah dan tujuan penelitian. Penulis juga ingin memberikan rekomendasi berdasarkan evaluasi penelitian ini dan juga penelitian ini dapat digunakan pada penelitian selanjutnya.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Properties Biopelumas Minyak Jarak Kepyar

Pada penelitian ini, minyak jarak kepyar didapatkan dari proses pengolahan tumbuhan jarak kepyar. Tanaman jarak kepyar kemudian diolah bijinya dengan menggunakan proses *cold press* untuk dihasilkan minyak yang kemudian digunakan sebagai bahan dasar pembuatan biopelumas yang terdiri dari 4 tahap.

Pada tabel 4.1 terdapat hasil pengujian properties biopelumas dari minyak jarak kepyar. Pengujian dilakukan di Laboratorium Penguji Pusdiklat Migas Cepu dan Laboratorium Energi ITS.

Tabel 4.1 Properties BioPelumas Minyak Jarak Kepyar Berbanding Pelumas Pertamina Mesran B SAE 40

No.	Parameter	Satuan	Biopelumas Minyak Jarak	Pelumas Pertamina Mesran B SAE 40*	Standar Peraturan ESDM	Metode
1	Flash Point COC	°C	131	230	200	ASTM D92
2	Viskositas Kinematis pada 40°C	mm ² /s	98,69	145,80	90-110	ASTM D445
3	Viskositas kinematis pada 100°C	mm ² /s	9,674	14,9	9,3-12,5	ASTM D445
4	Indeks Viskositas	-	68	102	-	ASTM D2270
5	Pour Point	°C	-15	-12	Maks 3	ASTM D97
6	Total Base Number (TBN)	mg/g	9.76	11,70	Min. 6.0	ASTM D2896
7	Kandungan Air	%	11,571	0,0786	-	Gravimetri

*Data properties Pelumas Pertamina Mesran B SAE 40 didapatkan dari website resmi pelumas.pertamina.com

Pengolahan biopelumas harus dijaga kualitasnya sehingga dapat memenuhi standard yang telah ditetapkan oleh Peraturan Menteri ESDM No.053 Tahun 2006 tentang Wajib Daftar Pelumas yang Dipasarkan di Dalam Negeri. Untuk keberhasilan pengujian agar properties biopelumas memenuhi standar yang ada maka dilakukan 4 tahap proses, yaitu esterifikasi, transesterifikasi, epoksidasi dan reaksi pembukaan cincin epoksida.

4.1.1 Titik Nyala (*Flash Point*)

Pada hasil pengujian properties menunjukkan bahwa *flash point* yang dimiliki oleh biopelumas minyak jarak kepyar sebesar 131°C. Nilai *flash point* yang dimiliki oleh biopelumas berada di bawah nilai yang dimiliki oleh pelumas Pertamina Mesran B SAE 40. Rendahnya titik nyala yang dimiliki oleh biopelumas adalah akibat dari bahan dasar minyak nabati yang sebesar 184°C. Nilai tersebut di bawah nilai yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri ESDM tahun 2006 tentang standar dan mutu spesifikasi pelumas yang dipasarkan di dalam negeri yang dapat dilihat pada tabel 2.1. Untuk itu perlu dilakukan lagi *treatment* agar nilai *flash point* minyak pelumas meningkat dimana pada penelitian ini proses pembuatan mengakibatkan penurunan nilai *flash point* yang setiap minyak nabati yang mempunyai sifat khas jika dilakukan pencampuran reaksi dan juga diakibatkan berkurangnya bobot molekul (Arizona, 2010).

4.1.2 Viskositas Kinematis

Suhu yang diamati untuk mendapatkan viskositas kinematis adalah saat pelumas berada pada suhu 40°C dan 100°C. Pada pengujian properties biopelumas minyak jarak didapatkan viskositas kinematis pada saat suhu 40°C yaitu menunjukkan angka 98,69 mm²/s dan pada saat suhu 100°C menunjukkan angka 9,674 mm²/s. Viskositas kinematis yang dimiliki oleh biopelumas masih lebih rendah jika dibandingkan dengan pelumas Pertamina Mesran B SAE 40.

Menurut standar yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri ESDM tahun 2006 tentang standar dan mutu spesifikasi pelumas yang dipasarkan di dalam negeri yang merujuk pada SAE J300 mengenai nilai viskositas pada pelumas, biopelumas minyak jarak kepyar memenuhi standar untuk kategori SAE 30 dimana pada SAE 30 angka viskositas pada suhu 40°C adalah antara 90-100 mm²/s dan angka viskositas pada suhu 100°C adalah 9,3-12,5 mm²/s.

4.1.3 Titik Tuang (*Pour Point*)

Pada pengujian properties biopelumas dari minyak jarak kepyar memiliki nilai titik tuang yaitu -15°C dimana nilai titik tuang yang dimiliki oleh bahan dasar minyak jarak kepyar adalah -25°C. Dengan nilai titik tuang berada pada nilai -15°C, biopelumas minyak jarak memiliki nilai titik tuang yang lebih rendah jika dibandingkan dengan pelumas Pertamina Mesran B SAE 40 yang memiliki nilai titik tuang sebesar -12°C.

Nilai titik tuang yang dimiliki oleh pelumas memenuhi syarat properties yang sudah ditetapkan oleh Peraturan Menteri ESDM tahun 2006 mengenai standar dan mutu spesifikasi pelumas yang dipasarkan di dalam negeri menetapkan bahwa nilai maksimal pour point yaitu berada di 3°C.

4.1.4 Indeks Viskositas

Menurut metode pengujian ASTM D 2270, untuk menunjukkan perubahan dengan suatu bilangan diperlukan pengukuran viskositas pada 40°C dan 100°C dan mencari hubungan antara kedua titik tersebut. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai indeks viskositas minyak jarak kepyar berada pada angka 68. Hal ini menunjukkan bahwa nilai indeks viskositas berada pada kategori *Medium Viscosity Index (MVI)* yaitu antara nilai 39-80.

4.1.5 Total Angka Basa (TBN)

Menurut Peraturan Menteri ESDM tahun 2006 tentang standar dan mutu spesifikasi pelumas yang dipasarkan di dalam negeri mengenai standard pelumas mesin diesel nilai total angka basa (TBN) yang harus dimiliki minimal 6.0 mg/g.

Pada pengujian properties biopelumas dari minyak jarak kepyar nilai total angka basa yang dihasilkan yaitu sebesar 9,76 mg/g. Nilai TBN yang dimiliki oleh biopelumas masih memenuhi standar yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri ESDM. Namun, nilai TBN pada biopelumas masih dibawah nilai yang dimiliki oleh pelumas pertamina mesran B SAE 40 yang memiliki nilai TBN sebesar 11,70.

4.2 Analisa Pelumas Mesin

Dari hasil pengujian properties pelumas setelah eksperimen selama 200 jam digunakan dapat disimpulkan bahwa kedua pelumas memiliki properties dan karakteristik yang berbeda. Hal tersebut dikarenakan bahan dasar dan proses produksi minyak pelumas pertamina mesran B SAE 40 berasal dari residu minyak mineral. Sedangkan biopelumas minyak jarak kepyar yang berasal dari bahan nabati sehingga memiliki perlakuan yang berbeda. Pada saat diujikan di mesin diesel pelumas mengalami perubahan sifat fisika kima seperti yang terdapat pada tabel 4.2 sebagai berikut.

Tabel 4.2 Hasil pengujian Pelumas Pertamina Mesran B SAE 40 dan Biopelumas Minyak Jarak Kepyar

No.	Jenis Pengujian	Pertamina Mesran B SAE 40 Baru	Pertamina Mesran B SAE 40 Bekas	Biopelumas Minyak Jarak Kepyar Baru	Biopelumas Minyak Jarak Kepyar Bekas
1	Titik Nyala (<i>Flash Point</i>)	230	>230	131	202
2	Viskositas Kinematis pada 40°C	145,80	80	98,69	253,7
3	Viskositas kinematis pada 100°C	14,9	14	9,674	21,10
4	Viskositas Index	102	99	68	98
5	Titik Tuang (<i>Pour Point</i>)	-12	-3	-15	-3
6	Total Base Number (TBN)	11,70	11,38	9,76	11,35
7	Kandungan Air	0,0786%	3,733%	11,571%	0,188%

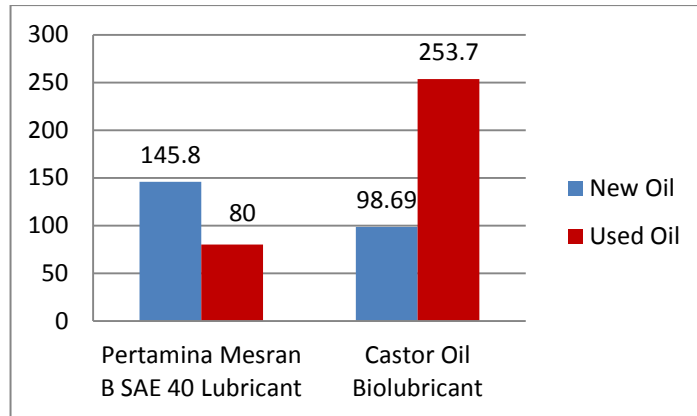
Menurut The International Council on Combustion Engine (CIMAC) terdapat beberapa parameter batasan properties pelumas dapat dipakai. Pada tabel 4.3 menunjukkan limit pada pelumas.

Tabel 4.3 Batasan Pelumas Dapat Pakai

No.	Properties	Batasan
1	Titik Nyala (<i>Flash Point</i>)	<180
2	Viskositas Kinematis pada 40°C	-25%
3	Viskositas kinematis pada 100°C	-25%
4	Total Base Number (TBN)	<50% of fresh oil
5	Kandungan Air	0,2%

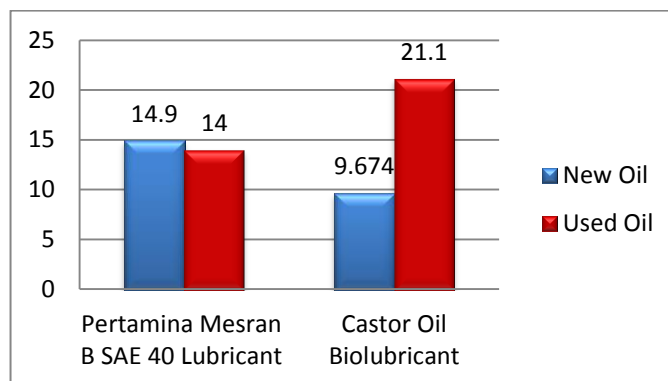
4.2.1 Viskositas Kinematis 40°C & 100°C

Perubahan nilai viskositas pada pelumas mesin harus berada pada batas minimal sebelum dilakukannya pergantian karena pelumas mempengaruhi efisiensi pelumasan, efisiensi mesin dan daya tahan mesin. Dapat dilihat pada grafik 4.1 dan grafik 4.2 merupakan perbandingan viskositas kinematis pada suhu 40°C dan 100°C antara pelumas pertamina mesran B SAE 40 dan biopelumas minyak jarak kepyar. Terdapat perubahan viskositas yang terjadi pada kedua pelumas setelah dilakukannya eksperimen.



Grafik 4.1 Perbandingan Viskositas Kinematis suhu 40°C

Grafik 4.1 menunjukkan viskositas pelumas pertamina mesran B SAE 40 pada suhu 40°C. Terdapat penurunan nilai viskositas pada pelumas mineral menjadi 80 cSt dimana pada kondisi awal pelumas pertamina mesran B SAE 40 memiliki viskositas sebesar 145,8 cSt. Sedangkan, kondisi berbeda terjadi pada biopelumas dimana terjadi peningkatan dari kondisi awal biopelumas. Peningkatan viskositas sebesar 30% terjadi pada suhu 40°C.



Grafik 4.2 Perbandingan Viskositas Kinematis suhu 100°C

Viskositas pelumas pertamina mesran B SAE 40 pada suhu 100°C terjadi penurunan sebesar 6%. Perubahan tersebut menurut buku yang ditulis oleh Mobley & Keith (2011) menunjukkan bahwa penurunan tersebut belum melewati batas minimal sebesar 25% penurunan viskositas pada suhu 100°C. Kenaikan viskositas pada suhu 100°C terjadi pada biopelumas menjadikan nilai viskositas sebesar 21,1 cSt.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Agarwal and Dhar (2012) penurunan viskositas disebabkan oleh beberapa faktor yaitu bercampurnya oli pelumas dengan bahan bakar (*fuel dilution*) dan keberadaan degradasi aditif untuk menaikkan angka viskositas indeks dapat mempengaruhi

penurunan viskositas. Terjadinya penurunan viskositas yang diakibatkan oleh *fuel dilution* disebabkan oleh meningkatnya keausan yang terjadi pada *ring piston* sehingga jarak antara *ring piston* dengan ruang pembakaran (*liner*) bertambah. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan 4.4 yang menunjukkan keausan ring piston pada saat menggunakan dua pelumas yang berbeda.

Tabel 4.4 Celah Ring Piston saat menggunakan pelumas pertamina Mesran B SAE 40

No	Posisi Titik Mati Atas (TMA)			Posisi Titik Mati Bawah (TMB)		
	Ring Piston Ke-	Gap Sebelum Pengujian	Gap Setelah Pengujian	Ring Piston Ke-	Gap Sebelum Pengujian	Gap Setelah Pengujian
1	1	0,5 mm	0,7 mm	1	0,5 mm	0,6 mm
2	2	0,5 mm	0,6 mm	2	0,4 mm	0,5 mm
3	3	0,5 mm	0,55 mm	3	0,3 mm	0,45 mm

Tabel 4.5 Celah Ring Piston saat menggunakan biopelumas minyak jarak kepyar

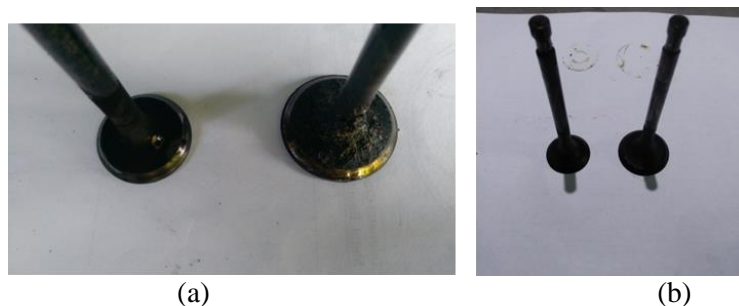
No	Posisi Titik Mati Atas (TMA)			Posisi Titik Mati Bawah (TMB)		
	Ring Piston Ke-	Gap Sebelum Pengujian	Gap Setelah Pengujian	Ring Piston Ke-	Gap Sebelum Pengujian	Gap Setelah Pengujian
1	1	0,5 mm	0,65 mm	1	0,5 mm	0,55 mm
2	2	0,5 mm	0,6 mm	2	0,4 mm	0,5 mm
3	3	0,5 mm	0,6 mm	3	0,3 mm	0,5 mm

Penelitian yang dilakukan oleh Agarwal and Dhar, (2012) menunjukkan bahwa peningkatan pada pelumas dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti oksidasi yang terjadi pada pelumas, penipisan aditif yang berfungsi untuk mengurangi keausan pada mesin, dan kontaminan yang tidak dapat larut pada pelumas. Kenaikan nilai viskositas ini dapat disebabkan karena terkontaminasi dengan sisa hasil pembakaran dan tidak adanya aditif *detergen* ataupun *dispersant* yang ditambahkan pada biopelumas. Pada proses pembakaran di ruang bakar terdapat jelaga yang menempel pada dinding silinder dan piston akibat pembakaran tidak sempurna dan terjadinya penguapan pelumas. Jelaga tersebut yang kemudian diikat oleh pelumas yang melapisi permukaan komponen tersebut dan meningkatkan kekentalan dari pelumas.



Gambar 4.1 Kondisi *Connecting rod* saat menggunakan (a) Biopelumas Minyak Jarak Kepyar (b) Pelumas Pertamina Mesran B SAE 40

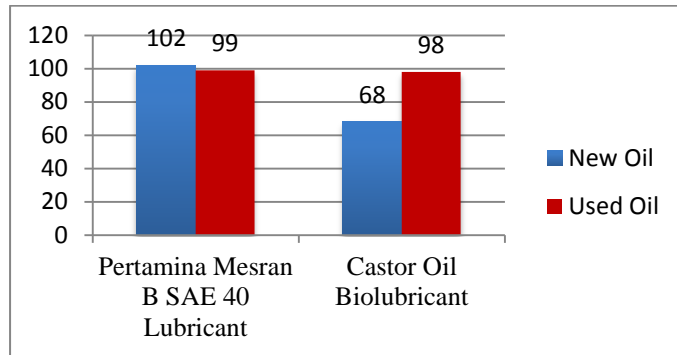
Kondisi awal biopelumas kandungan air yang memiliki 11% mempengaruhi perubahan viskositas pada pelumas. Kandungan air pada pelumas menyebabkan pelumas teroksidasi pada temperature tinggi dengan keberadaan oksigen di dalamnya. Pada saat molekul air terpecah antioksidan akan timbul dan dapat mengoksidasi minyak pelumas. Oksidasi tersebut dapat mengental dan membentuk lumpur yang dapat menempel pada komponen mesin seperti pada gambar 4.2 dimana kondisi *connecting rod* saat menggunakan biopelumas dan pelumas mineral berbeda.



Gambar 4.2 Kondisi Valve Menggunakan (a) Biopelumas Minyak Jarak (b) Pelumas Pertamina Mesran B SAE 40

Selain pada *connecting rod* efek oksidasi yang menyebabkan mengentalnya biopelumas juga mempengaruhi kondisi katup *intake* dan *exhaust*. Pada gambar 4.2 dapat dilihat perbandingan kondisi katup *intake* dan *exhaust* dengan menggunakan dua pelumas yang berbeda dimana pada katup *intake* saat pengujian menggunakan biopelumas secara visual terbentuk deposit yang cukup banyak. Penelitian yang dilakukan oleh (Wiak and Siczek, n.d.) menyatakan bahwa deposit dapat berasal dari komposisi bahan bakar, aditif pada bahan bakar, dan pelumas mesin.

4.2.2 Indeks Viskositas

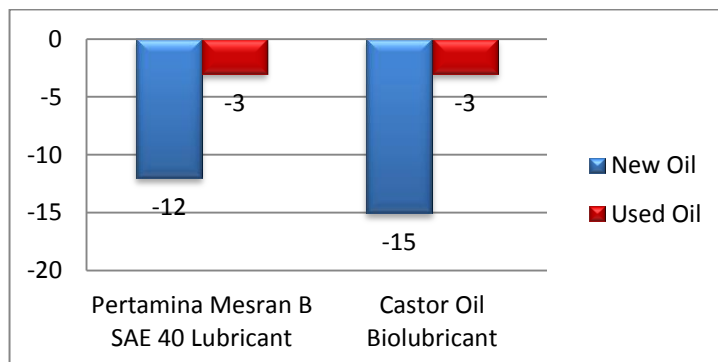


Grafik 4.3 Perbandingan Indeks Viskositas Pelumas Pertamina Mesran B SAE 40 dan Biopelumas Minyak Jarak Keypar

Grafik 4.3 menunjukkan perbandingan indeks viskositas pelumas pertamina mesran B SAE 40 dan biopelumas minyak jarak keypar. Penentuan nilai indeks viskositas diperoleh dengan membandingkan nilai viskositas pada suhu 40°C dan 100°C dan prosedur perhitungan terdapat pada ASTM D2270. Indeks viskositas pada dua pelumas mengalami perubahan yang berbeda. Pada pelumas pertamina mesran B SAE 40 indeks viskositas mengalami 2,95% penurunan hal ini berbanding lurus dengan penurunan nilai viskositas kinematis pada pelumas. Penelitian yang dilakukan oleh Yunus et al.,(2013) menyatakan jika menurunnya nilai indeks viskositas dapat menyebabkan beberapa efek seperti keausan yang berlebih dan meningkatkan gesekan antar komponen. Penurunan nilai indeks viskositas juga dapat disebabkan oleh terjadinya *fuel dilution*.

Sementara itu untuk biopelumas minyak jarak keypar mengalami kenaikan sebanyak 44% daripada kondisi awal biopelumas. Kenaikan ini bersamaan dengan mengentalnya pelumas yang diakibatkan oleh oksidasi.

4.2.3 Titik Tuang (*Pour Point*)



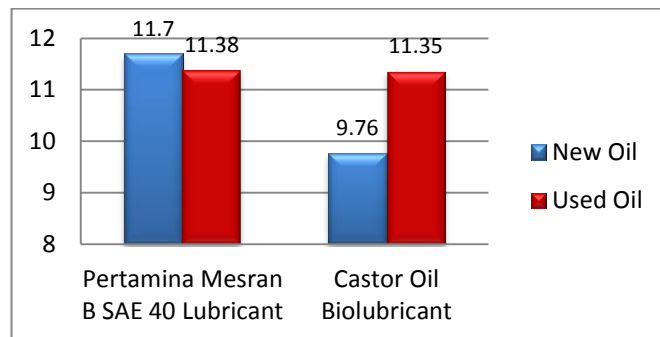
Grafik 4.4 Perbandingan Titik Tuang Pelumas Pertamina Mesran B SAE 40 dan Biopelumas Minyak Jarak Keypar

Pada grafik 4.4 menunjukkan perbandingan titik tuang pelumas pertamina mesran B SAE 40 dengan biopelumas minyak jarak kepyar. Nilai titik tuang pada pelumas pertamina mesran B SAE 40 mengalami peningkatan sebesar 9°C. Sedangkan kenaikan titik tuang yang terjadi pada biopelumas minyak jarak kepyar sebesar 12°C. Faktor bertambahnya titik tuang pada pelumas mineral dan biopelumas adalah sifat lilin yang dimiliki oleh kedua minyak. Pelumas yang banyak mengandung(lilin) akan lebih mudah membeku dibandingkan dengan yang memiliki paraffin yang rendah. Kandungan paraffin yang lebih tinggi dapat ditemukan pada minyak yang berasal dari tanaman (Ekaputra et al., 2014).

4.2.4. Total Angka Basa (TBN)

Total angka basa (TBN) adalah kemampuan pelumas untuk menetralkan asam kuat (sulfat) yang terjadi akibat proses pembakaran sehingga dapat melindungi komponen mesin seperti piston,ring, dan dinding silinder dari terjadinya korosi. Umumnya, nilai TBN yang terdapat pada pelumas mesin diesel berada pada angka 10-15. Dibutuhkannya TBN yang besar pada mesin diesel dikarenakan kandungan sulfur pada bahan bakar diesel besar.

Dari hasil pengujian dapat dilihat pada grafik 4.5 menunjukkan bahwa perbandingan total angka basa (TBN) antara pelumas pertamina mesran B SAE 40 dan biopelumas minyak jarak kepyar mengalami perubahan yang berbeda. Nilai TBN yang dimiliki oleh pelumas mineral sebesar 11.70. Kondisi pelumas mesin setelah digunakan eksperimen selama 200 jam dengan menggunakan metode EMA (Engine Manufacturing Association) nilai TBN mengalami penurunan menjadi 11.38 atau penurunan sebesar 2,7%.



Grafik 4.5 Perbandingan Total Angka Basa Pelumas Pertamina Mesran B SAE 40 dan Biopelumas Minyak Jarak Kepyar

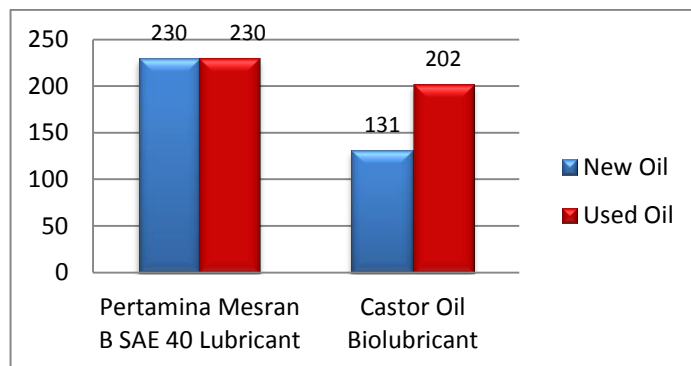
Menurut buku yang ditulis oleh Mobley & Keith (2011) menyatakan bahwa pelumas harus dilakukan pergantian ketika nilai TBN sudah menurun sebesar 50%. Dengan penurunan tersebut pelumas jika dilihat dari nilai TBN masih dapat dipakai.

Material Safety Data Sheet yang dikeluarkan oleh Pertamina untuk pelumas Pertamina Mesran B SAE 40 menyatakan pelumas akan stabil ketika berada pada suhu dibawah 85°C dan ketika suhu pelumas berada diatas 85°C pelumas akan mengeluarkan Hidrogen Sulfida (H_2S) yang dapat menimbulkan asam kuat pada ruang bakar sehingga dapat mengurangi nilai TBN pada pelumas. Namun, pada penelitian ini penulis tidak mengamati suhu pada pelumas.

Pada biopelumas minyak jarak kepyar terjadi peningkatan total angka basa (TBN). Peningkatan nilai TBN biasanya dibarengi oleh peningkatan viskositas pada pelumas. Indikasi terjadinya peningkatan nilai TBN yaitu terdapatnya kandungan air 11% pada kondisi awal biopelumas. Ketika mesin dijalankan dan dalam kondisi yang sangat panas bagian dari minyak yang lebih ringan akan menguap dalam kasus ini adalah kandungan air pada pelumas dan konsentrasi aditif akan meningkat. Jika hal ini terjadi maka nilai TBN akan meningkat dan pelumas tidak dapat dengan baik menahan asam yang ditimbulkan oleh proses pembakaran. Jika fungsi penetralan tidak baik asam pada pembakaran dapat menimbulkan keausan logam besi pada komponen mesin. Hal tersebut dapat dilihat dari banyaknya kandungan logam besi yaitu sebesar 19 ppm.

4.2.5 Titik Nyala (*Flash Point*)

Perubahan nilai titik nyala pada kedua pelumas mengalami kenaikan. Grafik 4.6 menunjukkan kenaikan nilai *flash point* pada kedua pelumas dimana titik nyala yang dimiliki oleh pelumas pertamina setelah dilakukan eksperimen melebihi 230°C . Hal yang sama juga terjadi pada biopelumas dimana kenaikan titik nyala sebesar 52,4%.



Grafik 4.6 Perbandingan Titik Nyala Pelumas Pertamina Mesran B SAE 40 dan Biopelumas Minyak Jarak Kepyar

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Arunachaleshwara PR.,et al (2017) menunjukkan bahwa semakin banyak kandungan air yang berada pada minyak maka nilai titik nyala akan semakin tinggi. Meningkatnya nilai titik nyala akibat kandungan air menimbulkan efek yang ditimbulkan pada komponen mesin seperti dapat dilihat pada gambar 4.3. Pada biopelumas

yang memiliki nilai titik nyala yang rendah dan terdapat kandungan air menimbulkan indikasi bahwa kandungan air yang terdapat pada biopelumas mengalami penguapan dan pelumas ikut terbakar pada ruang bakar.



Gambar 4.3 Kondisi piston setelah eksperimen (a) Biopelumas Minyak Jarak (b) Pelumas Pertamina Mesran B SAE 40

4.2.6 Kandungan Air

Kandungan air yang berada pada pelumas Pertamina Mesran B SAE 40 setelah digunakan mengalami kenaikan sebesar 3%. Sebelum dilakukannya eksperimen kandungan air yang terdapat pada biopelumas sebesar 11.571%. Kandungan air tersebut semakin berkurang selama eksperimen sehingga pada saat selesai dilakukannya eksperimen kandungan air pada biopelumas menyisakan 0.188%. Nilai kandungan air pada kedua pelumas melebihi nilai batas kandungan air pada pelumas sebesar 0,2%. Indikasi besarnya nilai kandungan air pada biopelumas dikarenakan pada proses produksi melewati tiga kali proses pencucian dimana dalam proses pengeringan air yang terdapat pada biopelumas belum menguap seluruhnya. Banyaknya kandungan air yang terdapat pada biopelumas pada kondisi awal menyebabkan terjadinya oksidasi pada pelumas. Oksidasi yang terjadi menyebabkan pengentalan pada pelumas dan dapat berefek kepada konsumsi bahan bakar pada pelumas.

4.2.7 Analisa Logam

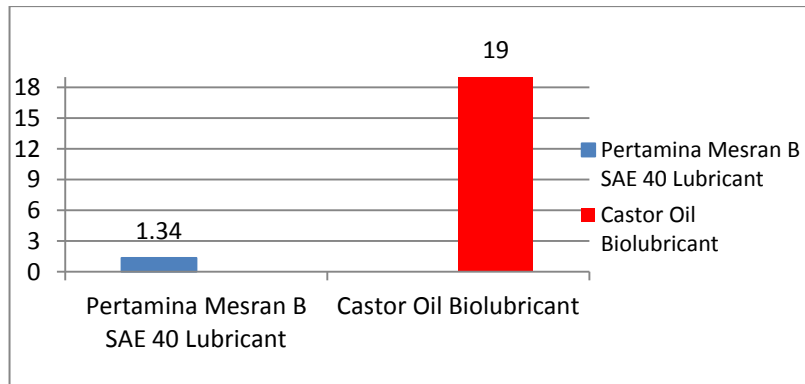
Pelumas motor diesel akan mengalami perubahan sifat fisika dan kimia selama motor diesel beroperasi, perubahan ini terjadi bergantung pada kondisi operasi, jenis bahan bakar, pelumas yang digunakan, dan lama pengoperasiannya. Kerusakan motor diesel juga dapat dilihat dari unsur-unsur dari logam yang aus pada komponen yang dikenainya. Pada tabel 4,6 dapat dilihat perbandingan kandungan logam dengan menggunakan dua pelumas yang berbeda.

Tabel 4.6 Kandungan logam pada pelumas

Parameter Logam	Kandungan Logam Biopelumas Minyak Jarak Kepar	Kandungan Logam Pelumas Pertamina Mesran B SAE 40	Satuan	Metode Pengujian
Besi (Fe)	19	1.34	PPM	AAS-Flammable
Aluminium (Al)	2.52	6.26	PPM	AAS-Flammable
Kromium (Cr)	<0.006	<0.006	PPM	AAS-Flammable

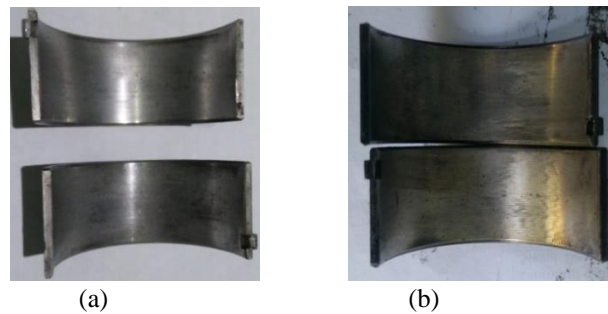
(a) Besi

Pada mesin terdapat beberapa komponen yang terbuat dari bahan baku besi sebagai contohnya yaitu ring piston, *cylinder liner* dan bantalan. Penggunaan bahan baku besi pada silinder liner dikarenakan sifat besi yang tahan terhadap panas dan gesekan.



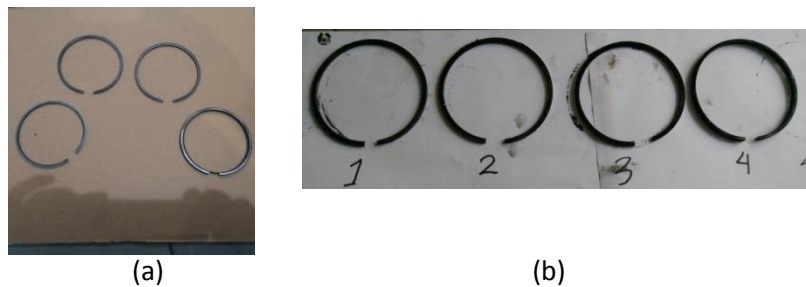
Grafik 4.7 Perbandingan Kandungan Logam Besi (Fe) Pelumas Pertamina Mesran B SAE 40 dan Biopelumas Minyak Jarak Kepar

Pada grafik 4.7 menunjukkan perbandingan kandungan logam besi pada dua pelumas yang digunakan untuk eksperimen. Pelumas pertamina mesran B SAE 40 memiliki kandungan besi sebesar 1,34 ppm, lebih sedikit jika dibandingkan dengan yang dimiliki oleh biopelumas minyak jarak kepar sebesar 19 ppm. Indikasi banyaknya kontaminasi besi pada biopelumas dapat diakibatkan viskositas yang lebih rendah pada biopelumas. Viskositas yang lebih rendah dari standar yang ditentukan oleh mesin dapat menimbulkan gesekan yang lebih besar pada komponen di ruang bakar.



Gambar 4.4 Kondisi *Journal Bearing* setelah eksperimen (a) Pertamina Mesran B SAE 40 (b) Biopelumas Minyak Jarak Keypar

Pada gambar 4.4 dapat diamati secara visual kondisi *journal bearing* saat digunakannya biopelumas memiliki goresan lebih banyak dibandingkan saat menggunakan pelumas mineral. *Journal bearing* yang digunakan pada eksperimen memiliki bahan baku yang sama yaitu besi tuang. Indikasi terjadinya goresan dikarenakan pada biopelumas terjadi proses oksidasi yang menyebabkan keausan yang berlebih pada *journal bearing* saat menggunakan biopelumas.

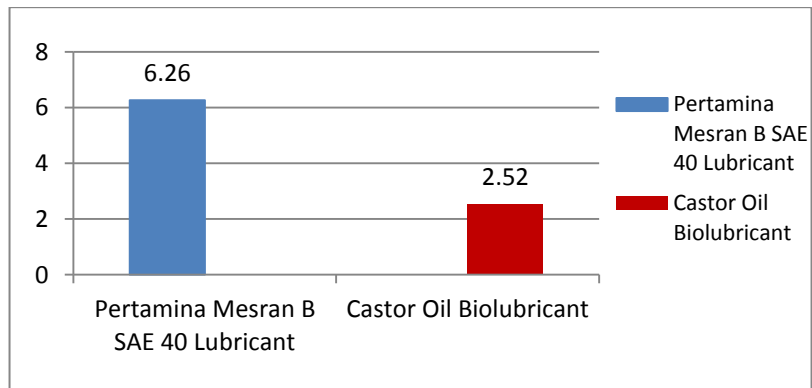


Gambar 4.5 Kondisi Piston Ring setelah eksperimen (a) Pertamina Mesran B SAE 40 (b) Biopelumas Minyak Jarak Keypar

Gambar 4.5 menunjukkan kondisi *piston ring* setelah eksperimen menggunakan dua pelumas yang berbeda. Secara visual perbedaan antara kedua ring piston tidak terlihat. Namun pada tabel 4.3 dan 4.4 dapat dilihat keausan yang terjadi pada *ring piston*. Bahan dasar *ring piston* yang berasal dari besi tuang mengakibatkan kandungan logam besi pada pelumas juga berasal dari *ring piston*. Komponen yang berasal dari bahan dasar besi pada mesin juga terdapat pada *cylinder liner*. Namun dikarenakan keberadaan *cylinder liner* yang berada pada ruang bakar maka dokumentasi sulit untuk dilakukan.

(b) Alumunium (Al)

Material logam alumunium merupakan salah satu material utama pada mesin diesel. Dapat dilihat pada grafik 4.8 perbandingan kandungan logam antara menggunakan biopelumas dan pelumas mineral pada eksperimen ketahanan mesin diesel selama 200 jam menunjukkan kandungan logam alumunium pada biopelumas memiliki nilai sebesar 2,53 ppm, lebih sedikit jika dibandingkan ketika menggunakan pelumas mineral yang memiliki kandungan alumunium sebesar 6,26 ppm. Material logam alumunium yang terdapat pada minyak pelumas dapat diakibatkan oleh keausan pada piston.



Grafik 4.8 Perbandingan Kandungan Logam Almunium (Al) Pelumas Pertamina Mesran B SAE 40 dan Biopelumas Minyak Jarak Keypar

Pada gambar 4.6 menunjukkan kondisi *piston* setelah uji ketahanan mesin selama 200 jam dengan dua pelumas. Secara visual terdapat goresan terjadi pada kedua piston setelah dilakukannya eksperimen. Goresan tersebut berasal dari gesekan antara piston dengan *cylinder liner*. Pada biopelumas gesekan yang terjadi dapat disebabkan karena viskositas pelumas yang lebih encer jika dibandingkan pelumas mineral.

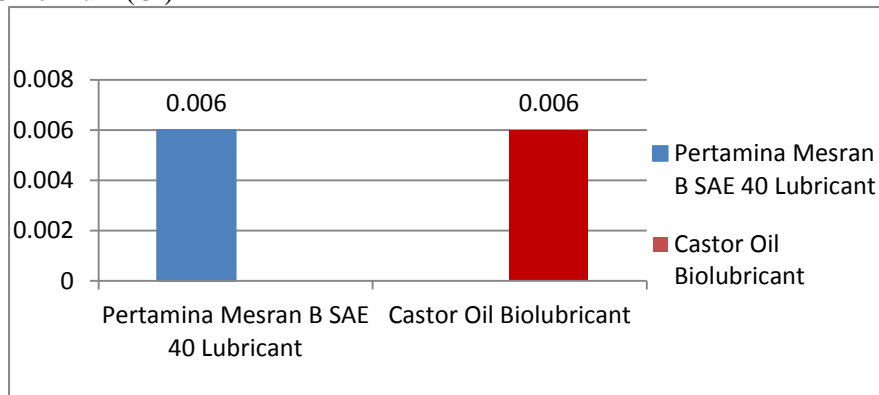


Gambar 4.6 Kondisi *piston* setelah eksperimen (a) Pelumas Pertamina Mesran B SAE 40 (b) Biopelumas Minyak Jarak Keypar

Selain itu, indikasi efek pelumasan yang kurang baik akibat terjadinya oksidasi pada biopelumas juga mengakibatkan keausan pada piston. Belum maksimalnya proses *retjen* pada mesin yang akan digunakan eksperimen

mengindikasikan bahwa banyaknya kandungan logam aluminium pada saat menggunakan pelumas Pertamina Mesran B SAE 40.

(c) Chromium (Cr)



Grafik 4.9 Perbandingan Kandungan kromium Pada Pelumas Pertamina Mesran B SAE 40 dan Biopelumas Minyak Jarak Keypar

Pada grafik 4.9 menunjukkan kandungan logam kromium yang terdapat pada komponen mesin setelah dilakukannya uji selama 200 jam menunjukkan hasil yang sama pada kedua pelumas. Pada biopelumas minyak jarak keypar dan pelumas mineral kandungan logam Cr sebesar <0.006 ppm. Menurut Evans (2010) kandungan kromium pada minyak pelumas berasal dari *cylinder liner* yang dilapisi oleh krom dan *ring piston* berasal dari besi tuang yang dilapisi oleh krom.

4.3 Engine Performance

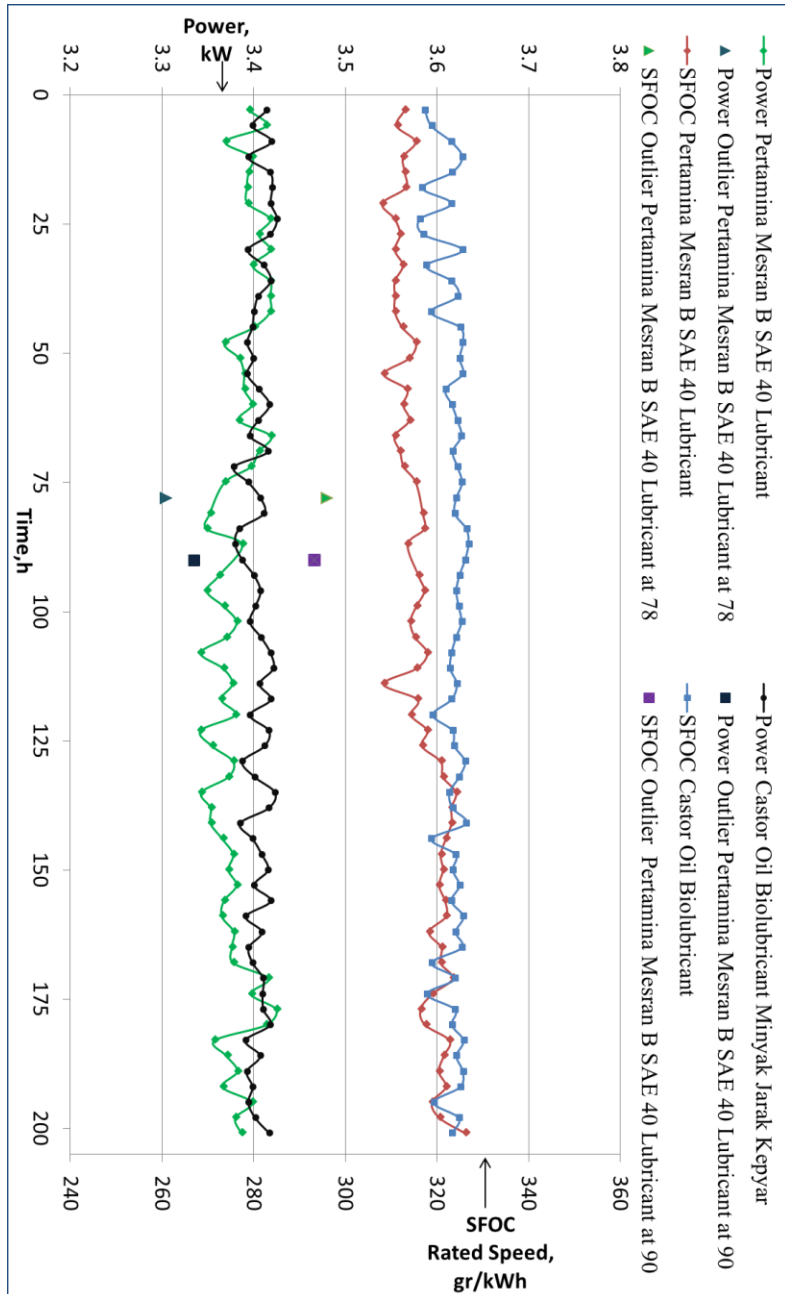
Pada penelitian ini dilakukan pengujian performa mesin selama uji ketahanan 200 jam untuk mengetahui perubahan performa yang terjadi pada mesin diesel. Penelitian ini menggunakan mesin diesel Dongfeng R180. Hasil percobaan ini nantinya akan membandingkan pengaruh penggunaan biopelumas yang berasal dari minyak jarak keypar terhadap perubahan performa mesin selama uji ketahanan 200 jam dan dengan pelumas Pertamina Mesran B SAE 40 yang sudah beredar dipasaran.

Sebelum dilakukannya eksperimen uji ketahanan mesin selama 200 jam dengan metode yang merujuk kepada EMA (*Engine Manufacturing Association*) dan untuk melihat performa dari mesin dilakukan *engine mapping* untuk mengetahui putaran dan beban mesin berada pada kondisi *low idle*, *high idle*, *rated speed*, dan *peak torque*.

Pada percobaan ini terdapat dua jenis pelumas yang akan dibandingkan yaitu Biopelumas Minyak Jarak Keypar dan Pelumas Pertamina Mesran B SAE 40. Jenis bahan bakar yang digunakan yaitu menggunakan Pertamina Dexlite. Untuk mengetahui performa dari mesin diesel diperlukan rumus perhitungan yang terdapat pada lampiran. Untuk analisa pembahasan mengenai daya mesin pada

saat *rated speed*, torsi pada saat *peak torque*, dan konsumsi bahan bakar spesifik pada saat *rated speed* dan *peak torque* sebagai berikut.

4.3.1 Perbandingan Daya terhadap Waktu Pelumas Pertamina Mesran B SAE 40 dan Biopelumas Minyak Jarak Kepyar



Grafik 4.10 Perbandingan Daya vs Waktu Uji Ketahanan Mesin 200 Jam

Grafik 4.10 menunjukkan grafik perbandingan daya dengan waktu selama 200 jam uji ketahanan mesin diesel dengan menggunakan dua tipe pelumas yang berbeda yaitu pelumas pertamina mesran B SAE 40 dan biopelumas minyak jarak kepyar. Daya maksimal yang dihasilkan ketika menggunakan pelumas pertamina mesran B SAE 40 sebesar 3,4 kW. Sedangkan pada saat digunakannya biopelumas jarak sebagai pelumas mesin daya yang dihasilkan memiliki rentang antara 3,37 sampai dengan 3,41 kW. Penurunan daya terjadi dikarenakan kondisi pelumas mesin ketika sudah dilakukan pengujian terjadi perubahan sifat fisika dan kimia yang dimiliki.

Salah satu faktor yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar pada mesin selain jenis bahan bakar yang dipakai adalah jenis pelumas yang digunakan. Pelumas yang tidak baik dapat meningkatkan gesekan yang timbul antar komponen sehingga menimbulkan kerja yang lebih berat pada komponen mesin.

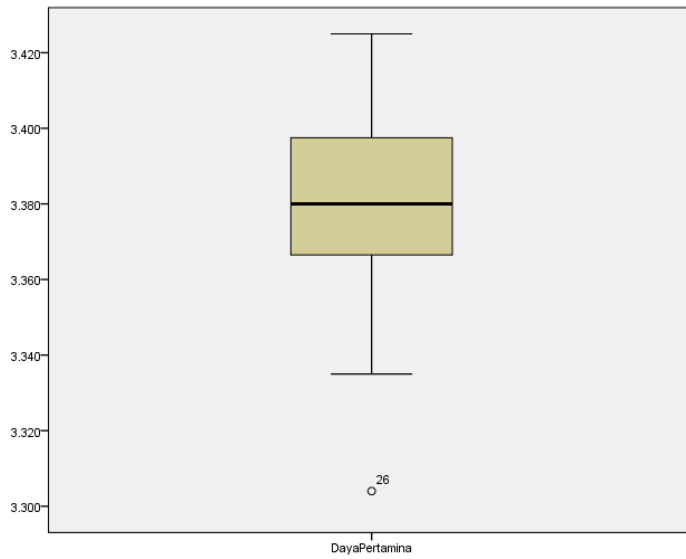
Konsumsi bahan bakar yang dihasilkan pada saat menggunakan pelumas pertamina mesran B SAE 40 lebih sedikit jika dibandingkan saat menggunakan biopelumas minyak jarak kepyar. Hal ini dapat terjadi dikarenakan pelumas pertamina mesran B SAE 40 lebih stabil dalam melumasi dan tidak menimbulkan gesekan berlebih pada komponen pada ruang bakar. SFOC yang dihasilkan pada saat rated speed berada pada rentang 310-320 gr/kWh. Namun, terjadi kesalahan eksperimen yang menimbulkan penurunan SFOC terjadi pada jam ke 76 dan jam ke 88. SFOC yang dihasilkan mengalami penurunan yang cukup besar yaitu menjadi menjadi 295.8 gr/kWh dan 293,1 gr/kWh.

Specific fuel oil consumption (SFOC) yang dihasilkan ketika menggunakan biopelumas minyak jarak kepyar lebih besar jika dibandingkan dengan menggunakan pelumas pertamina mesran B SAE 40. Rata-rata SFOC yang dihasilkan dengan menggunakan biopelumas minyak jarak kepyar sebesar 323 gr/kWh. Meskipun biopelumas minyak jarak kepyar memiliki viskositas awal yang lebih encer dibandingkan pelumas pembandingnya, namun gesekan yang ditimbulkan akibat pelumas yang terlalu encer dapat menyebabkan konsumsi bahan bakar yang lebih besar. Hal ini dapat dilihat pada kandungan logam besi yang terdapat pada biopelumas lebih besar dibandingkan pelumas mineral.

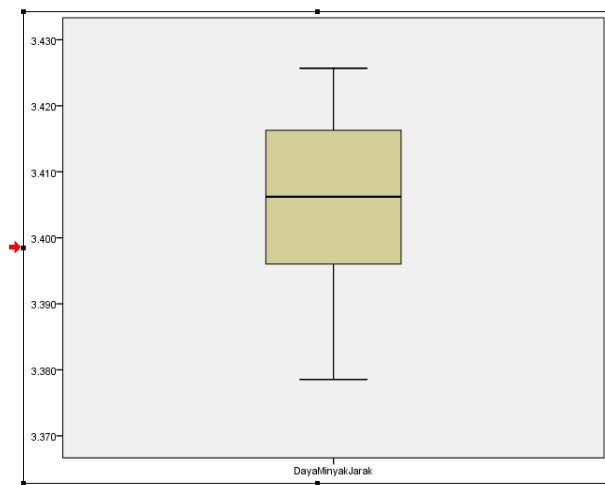
Selain gesekan antar komponen akibat viskositas yang terlalu encer, efek daripada oksidasi mampu meningkatkan viskositas pelumas. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Arisandi, et al (2012) menunjukkan bahwa efek penggunaan pelumas yang memiliki viskositas lebih kental akan memiliki konsumsi bahan bakar yang lebih banyak.

Pada gambar 4.7 dan 4.8 digunakan *software* IBM SPSS yang digunakan untuk menganalisa secara statistik titik daya yang berada pada kondisi *outlier*. Hasil dari *software* IBM SPSS menunjukkan bahwa ketika menggunakan pelumas pertamina mesran B SAE 40 terdapat satu titik yang berada pada kondisi *outlier*. Kondisi tersebut diakibatkan kesalahan teknis pada saat pengambilan data. Sedangkan, pada saat menggunakan

biopelumas minyak jarak tidak terdapat hasil pengambilan data yang berada pada kondisi *outlier*.

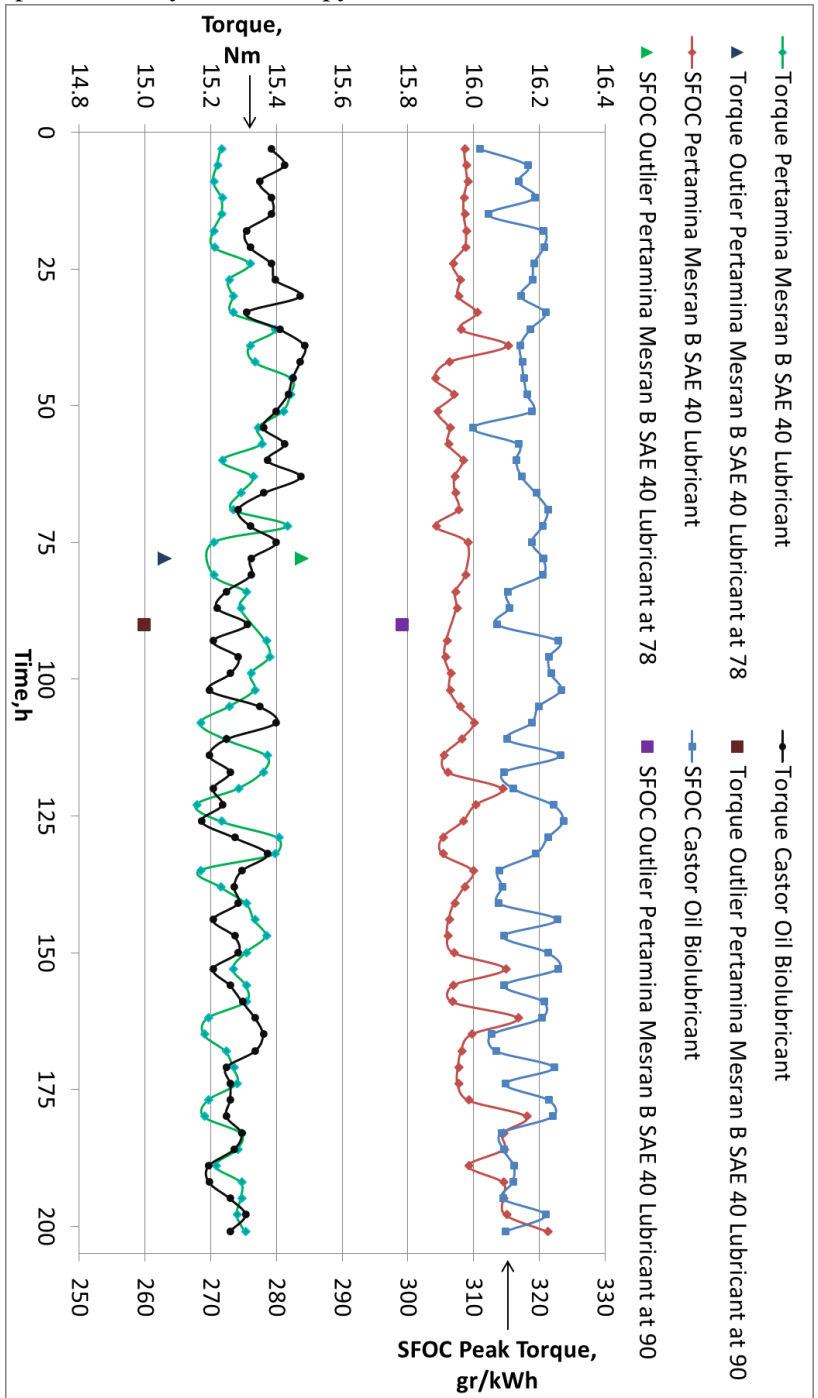


Gambar 4.7 IBM SPSS daya pelumas Pertamina Mesran B SAE 40



Gambar 4.8 IBM SPSS daya biopelumas minyak jarak kepyar

4.3.2 Perbandingan Torsi terhadap Waktu Pelumas Pertamina Mesran B SAE 40 dan Biopelumas Minyak Jarak Keyyar



Grafik 4.11 Perbandingan Torsi vs Waktu Uji Ketahanan Mesin 200 Jam

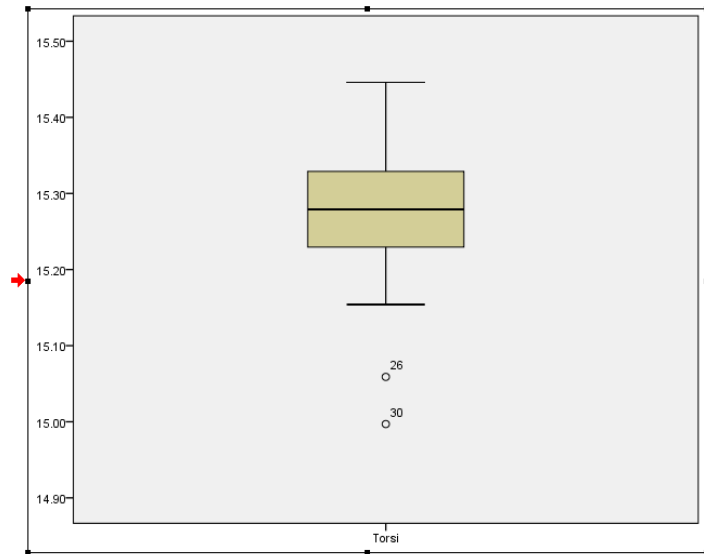
Grafik 4.11 menunjukkan grafik perbandingan torsi dengan waktu selama 200 jam saat pengujian ketahanan mesin diesel dengan menggunakan dua tipe pelumas yang berbeda yaitu pelumas pertamina mesran B SAE 40 dan biopelumas minyak jarak kepyar. Rata-rata torsi yang dihasilkan ketika mesin menggunakan pelumas pertamina mesran B SAE 40 adalah 15,25. Sedangkan ketika menggunakan biopelumas minyak jarak kepyar rata-rata torsi yang dihasilkan sebesar 15,31. Pada grafik 4.12 dapat dilihat penurunan torsi lebih besar terjadi pada saat mesin menggunakan biopelumas minyak jarak kepyar. Penurunan torsi yang terjadi pada mesin dapat diakibatkan oleh perubahan properties yang dimiliki oleh pelumas mesin. Pelumas yang sudah terpakai akan terjadi perubahan properties yang diakibatkan pelumas sudah terkontaminasi oleh logam akibat gesekan antar komponen dan juga fenomena yang terjadi selama pembakaran.

Perbandingan torsi yang terjadi pada saat menggunakan pelumas pertamina mesran B SAE 40 dengan biopelumas minyak jarak kepyar tidak mengalami perbedaan yang berarti. Dimana torsi yang dihasilkan masih termasuk kedalam toleransi perubahan torsi sebesar $\pm 3\%$ dari torsi maskimal yang dihasilkan oleh mesin pada eksperimen. Terjadi kesalahan mekanis yang terjadi pada jam ke 78 dan 90 yang mengakibatkan torsi yang dihasilkan oleh mesin menjadi turun dengan signifikan. Kesalahan tersebut mengakibatkan nilai torsi menjadi 15,06 pada jam ke 78 dan 14,99 pada jam ke 90. Hal tersebut mengakibatkan putaran generator menjadi tidak semestinya sehingga menghasilkan arus dan tegangan yang tidak pada kondisi normal.

Kesalahan teknis tersebut berdampak pada penurunan konsumsi bahan bakar spesifik (SFOC) yang dihasilkan. Pada saat mesin dijalankan pada jam ke 76-78 dan ke 88-90, SFOC yang dihasilkan ketika menggunakan pelumas pertamina mesran B SAE 40 sebesar 295,8 gr/kWh dan 293,1 gr/kWh. Rata-rata konsumsi bahan bakar pada saat menggunakan pelumas pertamina mesran B SAE 30 sebesar 308 gr/kWh, sehingga penurunan tersebut melewati batas toleransi terhadap perubahan SFOC yang digunakan selama eksperimen sebesar $\pm 5\%$.

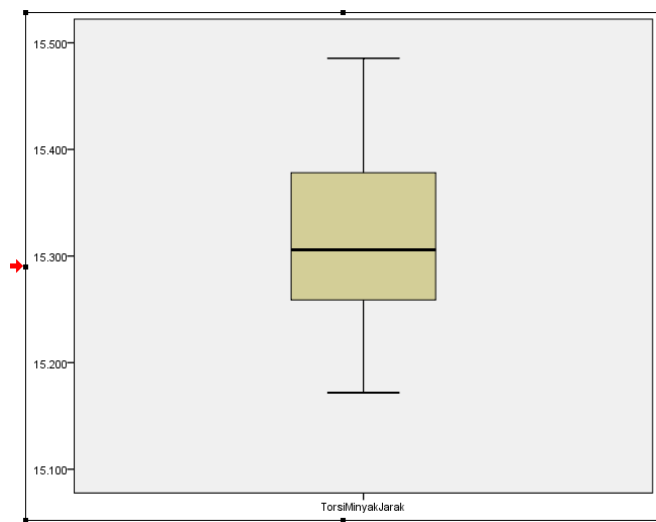
Jika dilihat pada grafik 4.11 terdapat perbedaan konsumsi bahan bakar spesifik yang dihasilkan oleh kedua pelumas. *Specific fuel oil consumption* (SFOC) yang dihasilkan ketika menggunakan biopelumas minyak jarak kepyar lebih besar jika dibandingkan dengan menggunakan pelumas pertamina mesran B SAE 40. Rata-rata SFOC yang dihasilkan dengan menggunakan biopelumas minyak jarak kepyar selama uji ketahanan 200 jam sebesar 318,05 gr/kWh.

Jika ditinjau dari perubahan sifat fisika dan kimia biopelumas, peningkatan viskositas yang terjadi dapat membuat konsumsi bahan bakar menjadi lebih banyak dikarenakan kerja dari komponen semakin berat.



Gambar 4.9 IBM SPSS torsi pelumas pertama mesran B SAE 40

Pada gambar 4.9 dan 4.10 digunakan *software* IBM SPSS yang digunakan untuk menganalisa dan membuktikan secara statistik titik torsi yang berada pada kondisi *outlier*. Hasil dari *software* IBM SPSS menunjukkan bahwa ketika menggunakan pelumas pertama mesran B SAE 40 terdapat dua titik yang berada pada kondisi *outlier*. Pada titik ke 26 dan 30 terjadi kesalahan mekanis pada saat pengambilan data. Sedangkan, pada saat menggunakan biopelumas minyak jarak tidak terdapat hasil pengambilan data yang berada pada kondisi *outlier*.



Gambar 4.10 IBM SPSS torsi biopelumas minyak jarak kepyar

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan proses pembuatan biopelumas dari minyak jarak kepyar didapatkan kandungan properties biopelumas minyak jarak kepyar beserta performa mesin selama 200 jam dan perbandingan properties dan kandungan logam antara biopelumas dari minyak jarak kepyar dan pelumas pertamina mesran B SAE 40, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil properties uji laboratorium biopelumas minyak jarak kepyar, didapatkan bahwa terdapat beberapa kandungan properties pada biopelumas dari minyak jarak kepyar yang belum memenuhi standar pelumasan seperti yang tertera pada Peraturan Menteri ESDM tahun 2006 tentang standar dan mutu spesifikasi pelumas yang dipasarkan di dalam negeri. Nilai titik nyala yang dimiliki oleh biopelumas sebesar 131°C belum memenuhi standar yang telah ditetapkan. Bahan dasar biopelumas yang berada dibawah 200°C juga menyebabkan rendahnya nilai titik nyala sehingga diperlukan perlakuan lain untuk menaikkan angka *flash point*. Selain itu nilai viskositas, TBN, dan indeks viskositas yang dimiliki biopelumas masih dibawah pelumas Pertamina Mesran B SAE 40. Kandungan air yang terdapat pada biopelumas terlalu besar dikarenakan kurang teliti nya pada saat produksi yaitu pada tahap pengeringan biopelumas
2. Hasil pengujian laboratorium biopelumas minyak jarak kepyar menunjukkan hasil bahwa terdapat perubahan sifat fisika dan kimia setelah dilakukan eksperimen selama 200 jam. Perubahan properties yang terjadi yaitu bertambahnya nilai viskositas kinematis, total angka basa (TBN), indeks viskositas yang disebabkan akibat terjadinya oksidasi pada biopelumas. Kandungan air yang terdapat pada biopelumas menyebabkan kenaikan titik nyala sebesar 52.4%. Kandungan logam yang terdapat pada biopelumas didominasi oleh kandungan besi sebesar 19 ppm. Efek dari encernya biopelumas menyebabkan gesekan yang terjadi pada ruang bakar menjadi lebih besar.
3. Perbandingan properties pada saat eksperimen dilakukan dengan menggunakan biopelumas minyak jarak kepyar dan pelumas pertamina mesran B SAE 40 memiliki perubahan properties yang berbeda. Pelumasan yang dilakukan oleh pelumas pertamina B SAE 40 lebih baik jika dibandingkan biopelumas. Hal ini dapat dilihat dari kondisi pelumas yang tidak mengalami oksidasi yang menyebabkan nilai TBN pada pelumas stabil. Selain itu, pelumas pertamina mesran B SAE 40 juga mempunyai kandungan logam besi yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan biopelumas. Hal ini menandakan komponen dilumasi dengan baik.

4. Hasil dari uji performa selama eksperimen selama 200 jam dapat diketahui pada 3 parameter yaitu:
 - a. Nilai daya yang dihasilkan pada penelitian ini menunjukkan daya yang dihasilkan pada saat menggunakan biopelumas minyak jarak kepyar memiliki rata-rata sebesar 3.4 kW sedikit lebih besar jika dibandingkan saat menggunakan pelumas pertamina mesran B SAE 40 yang menghasilkan daya rata-rata sebesar 3.38
 - b. Torsi yang dihasilkan pada penelitian ini setelah dilakukannya eksperimen selama 200 jam menunjukkan penggunaan biopelumas menghasilkan torsi rata-rata 15.313 Nm. Torsi tersebut sedikit lebih besar jika dibandingkan saat menggunakan pelumas pertamina mesran B SAE 40 yang menghasilkan torsi sebesar 15.251
 - c. SFOC yang dihasilkan pada kondisi *rated speed* menunjukkan SFOC saat menggunakan pelumas mineral lebih rendah 2.3% dibandingkan biopelumas. Sedangkan pada saat *peak torque* menunjukkan bahwa penggunaan biopelumas menghasilkan SFOC yang lebih besar 3.1% dibandingkan pelumas mineral. Indikasi terjadinya hal tersebut adalah gesekan antar komponen di ruang bakar yang lebih besar saat menggunakan biopelumas dan dapat dilihat pada kandungan logam besi yang jauh lebih banyak.

5.2 Saran

1. Sebelum dilakukannya eksperimen diharuskan melakukan pengujian kadar air pada biopelumas agar tidak terjadi oksidasi yang berpengaruh pada komponen mesin
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai perlakuan yang harus dilakukan untuk meningkatkan nilai viskositas dan titik nyala pada biopelumas agar bisa memenuhi standar yang diperlukan pada mesin yaitu SAE 40
3. Melakukan penelitian lebih lanjut dengan penggunaan aditif antioksidan dan *desspersant* pada biopelumas untuk dilakukan uji ketahanan mesin diesel.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdalla, B.K., 2018. Biofuels and Bio Lubricants Production for Industrial Application; The Sudanese Experience 3.
- Al-Nozili, M.S., Abeer, F.A., Ahmed, M.M., 2014. Studying the Changes of Some Heavy Metals Content in Lubricating Oil Caused by Using; Part I: Diagnostic Study. 4, 6.
- Arizona, Theresia Ansi Virda., 2010. Pembuatan Minyak Lumas Dasar Dari Tanaman Jarak (*Ricinus Communis L.*) (Castor Oil) Menggunakan 1,3-Propanadiol dan 1,5-Pentanadiol Serta Uji Kompatibilitasnya Terhadap Minyak Mineral 93.
- Arumugam, S., Sriram, G., Ellappan, R., 2014. Bio-lubricant-biodiesel combination of rapeseed oil: an experimental investigation on engine oil tribology, performance, and emissions of variable compression engine. *Energy* 72, 618e627.
- Atmanegara, A., 2010. Pembuatan Minyak Lumas Dasar Dari Tanaman Jarak (*Ricinus Communis L.*) (Castor Oil) Menggunakan 1,4-Butanadiol Dan 1,6-Heksanadiol Serta Uji Kompatibilitasnya Terhadap Minyak Mineral 93.
- Basha, S.S., 2017. Experimental Investigation of Crude Palm Oil as Engine Oil In 4s Si Engine. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology* V, 843–848.
- Bongfa, B., Atabor, P.A., Barnabas, A., Adeoti, M.O., 2015. Comparison of lubricant properties of castor oil and commercial engine oil 11.
- C. L. Peterson, J. C. Thompson, J. S. Taberski, 1999. One-Thousand-Hour Engine Durability Test With Hysee And Using A 5x-Ema Test Cycle. *Transactions Of The Asae* 42, 23–30.
- Debbie, A., 2016. Sintesis Bio-Pelumas Dari Minyak Minyak Biji Jarak: Pengaruh Rasio Mol Dan Waktu Reaksi 3, 4.
- Diatniti, W., Supriyanto, A., Pauzi, G.A., 2015. Analisis Penurunan Kualitas Minyak Pelumas Pada Kendaraan Bermotor Berdasarkan Nilai Viskositas, Warna dan Banyaknya Bahan Pengotor 8.
- Ekaputra, A.A., Sabil, K.M., Hosseinipo, A., Saaid, I.B., 2014. Impacts of Viscosity, Density and Pour Point to the Wax Deposition. *Journal of Applied Sciences* 14, 3334–3338.
- Galbi, M., 2016. Prediksi Penggantian Minyak Pelumas Motor Diesel Generator Set Berdasarkan Laju Perubahan Viskositas Dan Total Base Number Dengan Pendekatan Linieritas 12, 10.
- Heikal, E.K., Elmelawy, M.S., Khalil, S.A., Elbasuny, N.M., 2017. Manufacturing of environment friendly biolubricants from vegetable oils. *Egyptian Journal of Petroleum* 26, 53–59.
- Heywood J.B., (2018), *Fundamental Of Internal Combustion Engine*, 2nd edition, McGraw-Hill Education Publisher, USA.
- Inkerd, Ratchadaporn., Taharux, Churat., Chanataworn, Jutaporn. 2015. An experimental investigation of palm oil as an environment friendly biolubricant. *Interntional Joint Seminar and Symposium Jiangsu University, China.*

- Jagadeesh, K.M., Satish, V.K., 2012. The effect of oxidation on the tribological performance of few vegetable oils. *J. Mater. Res. Technol.* 1, 91e95.
- John, Evans., 2010. Where does all that metal come from?//Wear Check Condition. *Technical Bulletin*
- Kumar Agarwal, A., Dhar, A., 2012. Wear, durability, and lubricating oil performance of a straight vegetable oil (Karanja) blend fueled direct injection compression ignition engine. *Journal of Renewable and Sustainable Energy* 4, 063138.
- Mannekote, J.K., Kailas, S.V., 2011. Experimental investigation of coconut and palm oils as lubricants in four-stroke engine. *Tribol. Online* 6, 76e82.
- Masjuki, H.H., Maleque, M.A., Kubo, A., Nonaka, T., 1999. Palm oil and mineral oil based lubricants—their tribological and emission performance. *Tribology International* 32, 305–314.
- Mobley, R. Keith, *An Introduction To Predictive Maintenance.*, 2011
- Nugroho, S.R., Sunarno, H., Hakim, J.A.R., 2012. Identifikasi Fisis Viskositas Oli Mesin Kendaraan Bermotor terhadap Fungsi Suhu dengan Menggunakan Laser Helium Neon 5.
- Rahardiningrum, S.W.S., Reningtyas, R., Gusaptono, R.H., 2016. Biopelumas dari Minyak Nabati (Review) 6.
- Reddy, K.S.V., Kabra, N., Kunchum, U., Vijayakumar, T., 2014. Experimental investigation on usage of palm oil as a lubricant to substitute mineral oil in CI engines.
- Reeves, C.J., Menezes, P.L., 2016. *Advancements in Eco-friendly Lubricants for Tribological Applications: Past, Present, and Future*, *Ecotribology*. Springer, pp. 41e61.
- Salimon, J., Salih, N., Yousif, E., 2012. Improvement of pour point and oxidative stability of synthetic ester basestocks for biolubricant applications. *Arabian Journal of Chemistry* 5, 193–200.
- Santoso, B.B., Sudika, I.W., Jaya, I.K.D., 2014. Seed Yield and Oil Content of Beaq Amor Local Variety of Castor (*Ricinus communis* L.) after Stem Pruning at Different Times 6.
- Stanciu, I., 2012. *Methods For Calculating The Viscosity Index Hydraulic Oil* 5.
- Syaima, M.T.S., Zamratul, M.I.M., Noor, I.M., 2014. Development of bio-lubricant from *Jatropha curcas* oils 1, 4.
- Wagner, L.T., n.d. *The Effects Of Engine Operation On Lubricating Oil* (No. 250034). SAE International, Warrendale, PA.
- Wiak, P.J., Siczek, K., n.d. *Research On The Influence Of Carbon Deposits Upon Valve Wear* 19.
- W.Pulkrabek, W. (2004). *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine* (Second Edi., p. 478). Pearson Prentice-Hal
- Yunus, S., Rashid, A.A., Latip, S.A., Abdullah, N.R., Ahmad, M.A., Abdullah, A.H., 2013. Comparative Study of Used and Unused Engine Oil (Perodua Genuine and Castrol Magnatec Oil) based on Property Analysis basis. *Procedia Engineering* 68, 326–330.

LAMPIRAN I HASIL PENGUJIAN LABORATORIUM

a. Minyak Jarak Kepyar

H A S I L TEST RESULT

Nomor Seri : 112/LHU/LP/2019
Serial Number

Nomor Analisis : 248/04/19
Analysis Number
Halaman / Page : 2 / 2

Hasil Pengujian Contoh "Minyak Jarak Kepyar" sebagai berikut :

No	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil Analisis	METODE
1	Flash Point COC	⁰ C	295	ASTM D 92
2	Viskositas Kinematik pada 40 ⁰ C	mm ² /s	248,4	ASTM D 445
3	Viskositas Kinematik pada 100 ⁰ C	mm ² /s	18,96	ASTM D 445
4	Viskositas Index	-	84	ASTM D 2270
5	Pour Point	⁰ C	-30	ASTM D 97

Mengetahui,
Deputi Manajer Mutu

Budi Noviyanto, S.ST.
NIP 19731125 199403 1 002



ASLI
Original

Laboratorium Penguji PUSDIKLAT MIGAS
Manajer Teknis Laboratorium Minyak Bumi

Sahadad, S.ST.
NIP 19680105 199103 1 001

LAPORAN HASIL UJI INI HANYA BERKAITAN DENGAN BARANG YANG DIUJI,
DAN TIDAK BOLEH DIGANDAKAN TANPA PERSETUJUAN TERTULIS DARI LP-PUSDIKLAT MIGAS KECUALI SECARA LENGKAP

Rec. : 08/RT/LP Rev. : 0

Gambar 1.1 Hasil Pengujian Properties Minyak Jarak Kepyar

b. Properties BioPelumas Minyak Jarak Keyar Baru

H A S I L
TEST RESULT

Nomor Seri : 112/LHU/LP/2019
Serial Number

Nomor Analisis : 249/04/19
Analysis Number
Halaman / Page : 2 / 2

Hasil Pengujian Contoh “Minyak Pelumas Minyak Jarak” sebagai berikut :

No	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil Analisis	METODE
1	Flash Point COC	⁰ C	131	ASTM D 92
2	Viskositas Kinematik pada 40 ⁰ C	mm ² /s	98,69	ASTM D 445
3	Viskositas Kinematik pada 100 ⁰ C	mm ² /s	9,674	ASTM D 445
4	Viskositas Index	-	68	ASTM D 2270
5	Pour Point	⁰ C	-15	ASTM D 97

Mengetahui,
Deputi Manajer Mutu

Budi Noviyanto, S.ST.
NIP 19731125 199403 1 002



ASLI
Original

Laboratorium Penguji PUSDIKLAT MIGAS
Manajer Teknis Laboratorium Minyak Bumi

Sahadad, S.ST.
NIP 19680105 199103 1 001

LAPORAN HASIL UJI INI HANYA BERKAITAN DENGAN BARANG YANG DIUJI,
DAN TIDAK BOLEH DIGANDAKAN TANPA PERSETUJUAN TERTULIS DARI LP-PUSDIKLAT MIGAS KECUALI SECARA LENGKAP

Gambar 1.2 Hasil Pengujian Properties Biopelumas Minyak Jarak Keyar

LAPORAN HASIL PENGUJIAN

Nama Pemilik : Aridhanka Youri Al Kahfi
 Alamat Pemilik : Teknik SISIKAL ITS
 Nama Contoh : **Biopeluma Minyak Jarak** Tanggal Terima : 16 Apr 2019
 Deskripsi : Bentuk : -Padat/Cair/Gas Tanggal Pengujian : 23 Apr 2019
 Contoh : Volume : - Tanggal Selesai Pengujian : 25 Apr 2019
 Kemasan : Botol Jumlah Contoh : 01
 Kode Contoh : **EI-275**

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

No.	Nama Contoh	Jenis Uji	Hasil	Satuan	Metode Pengujian
1.	Bio pelumas minyak jarak	TBN	9,76	mg/g	ASTM D 2896-03

Suhu : 26,2 °C
 Humidity : 63%
 Analisis : 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

Koordinator Teknis

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

Vita Yuliana,S.Si
 NIP. 1990201822404

Gambar 1.3 Hasil *Total Based Number* (TBN) Biopelumas Minyak Jarak Kepyar Baru

c. Properties Biopelumas Minyak Jarak Keypar Bekas

H A S I L
TEST RESULT

Nomor Seri : 198/LHU/LP/2019
Serial Number

Nomor Analisis : 575/07/19
Analysis Number
Halaman / Page : 2 / 2

Hasil Pengujian Contoh “Biopelumas Bekas Minyak Jarak” sebagai berikut :

No	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil Analisis	METODE
1	Flash Point COC	°C	202	ASTM D 92
2	Viskositas Kinematik pada 40°C	mm ² /s	253,7	ASTM D 445
3	Viskositas Kinematik pada 100°C	mm ² /s	21,10	ASTM D 445
4	Viskositas Index	-	98	ASTM D 2270
5	Pour Point	°C	-3	ASTM D 97
6	Fe	mg/l	19	Flame AAS
7	Al	mg/l	2,52	Flame AAS
8	Krom	mg/l	<0,006	Flame AAS

ASLI
Original

Mengetahui,
Deputi Manajer Mutu

Budi Noviyanto, S.ST.
NIP 19731125 199403 1 002



Laboratorium Penguji PUSDIKLAT MIGAS
Manajer Teknis Laboratorium Minyak Bumi

Sahadad, S.ST.
NIP 19680105 199103 1 001

LAPORAN HASIL UJI INI HANYA BERKAITAN DENGAN BARANG YANG DIUJI,
DAN TIDAK BOLEH DIGANDAKAN TANPA PERSETUJUAN TERTULIS DARI LP-PUSDIKLAT MIGAS KECUALI SECARA LENGKAP

Rec. : 08/RT/LP Rev. : 0

Gambar 1.4 Hasil Pengujian Properties Biopelumas Minyak Jarak Keypar Bekas

LAPORAN HASIL PENGUJIAN

Nama Pemilik : Aridhanka Youri Al-Kahfi
 Alamat Pemilik : Sistem Perkapalan ITS

Nama Contoh : Biopelumas Tanggal Terima : 28 Juni 2019

Deskripsi : Bentuk : Padat/Cair/Gas Tanggal Pengujian : 03 Juli 2019
 Contoh Volume : - Tanggal Selesai :
 Kemasan : Botol Pengujian : 04 Juli 2019

Kode Contoh : EI-449 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	Biopelumas bekas Jarak Kepyar	TBN	11,35	mg/g	IK/LEL-ITS/IT

Suhu : 22,9°C
 Humidity : 59%
 Analisis : EYW
 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


Koordinator Teknis

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

Vita Yuliana, S.Si
 NIP. 1990201822404

Gambar 1.5 Hasil *Total Based Number* (TBN) Biopelumas Minyak Jarak Kepyar Bekas

d. Properties Pelumas Pertamina Mesran B SAE 40 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.22/LTAKI/V/2019

Terima dari : **Zeka**
 Siskal ITS
 Jenis contoh : Bahan bakar
 Kode contoh : A. Pertamina Mesran B SAE 40
 B. Minyak pelumas Biodiesel B30
 Uji : Kadar air, viskositas 40°C dan 100 °C, flash point

Parameter	Satuan	Hasil analisa		Metode analisa
		A	B	
Kadar air	%	0,0786	0,1307	Gravimetri
Viskositas 40°C	cSt	-	78	Viskometri
Viskositas 100 °C	cSt	-	7	Viskometri
Flash point	°C	-	>230	ASTM D-93

Keterangan :
 Hasil analisa tersebut diatas berdasarkan contoh yang kami terima

Surabaya, 14 Juli 2019



Siti Nurkhalimah, ST, MS, Ph.D
 Kepala Laboratorium TAKI

Gambar 1.6 Hasil Pengujian Kadar Air Pelumas Pertamina Mesran B SAE 40



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/LTAKI/V/2019

Terima dari : **Youri**
 Siskal ITS
 Jenis contoh : Bahan bakar
 Kode contoh : A. Sampel oli Dexlite
 B. Biopelumas minyak jarak
 C. Biopelumas minyak jarak bekas
 Uji : Kadar air, viskositas 40°C dan 100 °C, flash point

Parameter	Satuan	Hasil analisa			Metode analisa
		A	B	C	
Kadar air	%	3,7333	11,5711	0,1877	Gravimetri
Viskositas 40°C	cSt	80	-	-	Viskometri
Viskositas 100 °C	cSt	14	-	-	Viskometri
Flash point	°C	>230	-	-	ASTM D-93

Keterangan :
 Hasil analisa tersebut diatas berdasarkan contoh yang kami terima



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

Gambar 1.7 Hasil Pengujian Viskositas kinematis dan titik nyala pelumas Pertamina Mesran B SAE 40

H A S I L
TEST RESULT

Nomor Seri : 173/LHU/LP/2019
Serial Number

Nomor Analisis : 471/06/19
Analysis Number
Halaman / Page : 2 / 2


Hasil Pengujian Contoh “Minyak Pelumas (Dexlite Pertamina)” sebagai berikut :

No	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil Analisis	Metode
1	Viskositas Index	-	99	ASTM D 2270
2	Pour Point	°C	-3	ASTM D 97

ASLI
Original

Mengetahui,
Deputi Manajer Mutu

Budi Noviyanto, S.ST.
NIP 19731125 199403 1 002



Laboratorium/Penguji PUSDIKLAT MIGAS
Manajer Teknis Laboratorium Minyak Bumi

Sahadad, S.ST.
NIP 19680105 199103 1 001

LAPORAN HASIL UJI INI HANYA BERKAITAN DENGAN BARANG YANG DIUJI,
DAN TIDAK BOLEH DIGANDAKAN TANPA PERSETUJUAN TERTULIS DARI LP-PUSDIKLAT MIGAS KECUALI SECARA LENGKAP

Rec. : 08/RT/LP Rev. : 0

Gambar 1.8 Hasil Pengujian Titik Tuang dan Indeks Viskositas Pelumas Pertamina Mesran B SAE 40

H A S I L
TEST RESULT

Nomor Seri : 201/LHU/LP/2019
Serial Number

Nomor Analisis : 631.1/07/19
Analysis Number
Halaman / Page : 2 / 2

Hasil Pengujian Contoh "Minyak Pelumas Dexlite Pertamina" sebagai berikut :

No	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil Analisis	METODE
1	Fe	mg/l	1,34	Flame AAS
2	Al	mg/l	6,26	Flame AAS
3	Krom	mg/l	<0,006	Flame AAS

ASLI
Original

Mengetahui,
Deputi Manajer Mutu


Budi Noviyanto, S.ST.
NIP 19731125 199403 1 002


Laboratorium Penguji PUSDIKLAT MIGAS
Deputi Manajer Teknis Lab. Kimia dan Lind. Lingkungan


Amelia Eksa Lestari, S.ST.
NIP 19830828 200502 2 001

LAPORAN HASIL UJI INI HANYA BERKAITAN DENGAN BARANG YANG DIUJI,
DAN TIDAK BOLEH DIGANDAKAN TANPA PERSETUJUAN TERTULIS DARI LP-PUSDIKLAT MIGAS KECEUALI SECARA LENGKAP.

Rec. : 08/RT/LP Rev. : 0

Gambar 1.9 Hasil Pengujian Logam Pelumas Pertamina Mesran B SAE 40



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 : Aridhanka Youri Al Kahfi
 Alamat Pemilik : Teknik Sistem Perkapalan ITS

Nama Contoh : MESRAN B SAE 40 DEXLITE Tanggal Terima : 17 Juni 2019

Deskripsi : Bentuk : Padat/Cair/Gas Tanggal Pengujian : 18 Juni 2019
 Contoh Volume : - Tanggal Selesai Pengujian : 18 Juni 2019
 Kemasan : Botol Jumlah Contoh : 1

Kode Contoh : EI-399

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

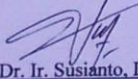
No.	Nama Contoh	Jenis Uji	Hasil	Satuan	Metode Pengujian
1	MESRAN B SAE 40 DEXLITE	TBN	11,38	mg/g	ASTM D 2896-03

Suhu : 24,5°C
 Humidity : 55%
 Analisis : 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

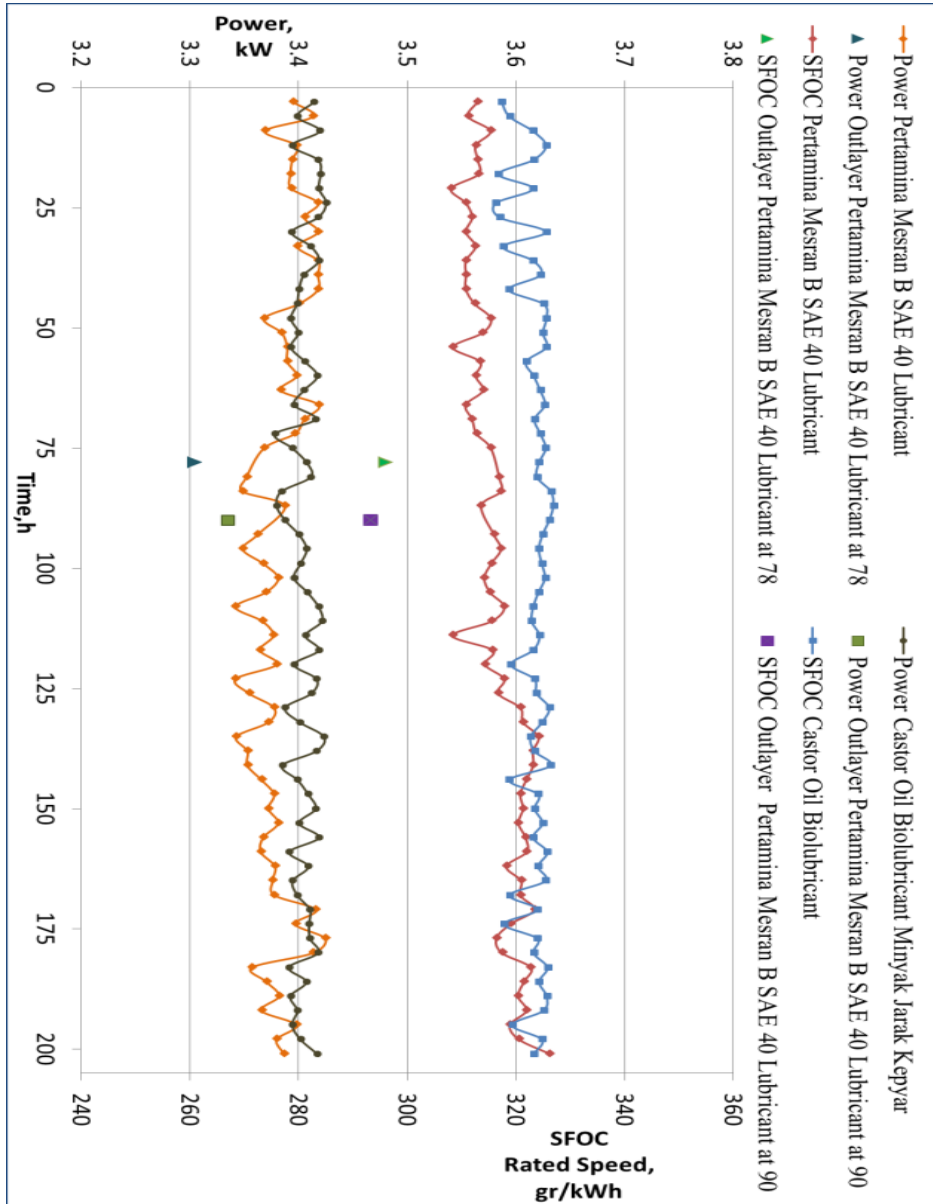
Ter/Rev./TP:2/1/30042018

Gambar 1.10 Hasil Pengujian Angka Basa Tota Pelumas Pertamina Mesran B SAE

LAMPIRAN II

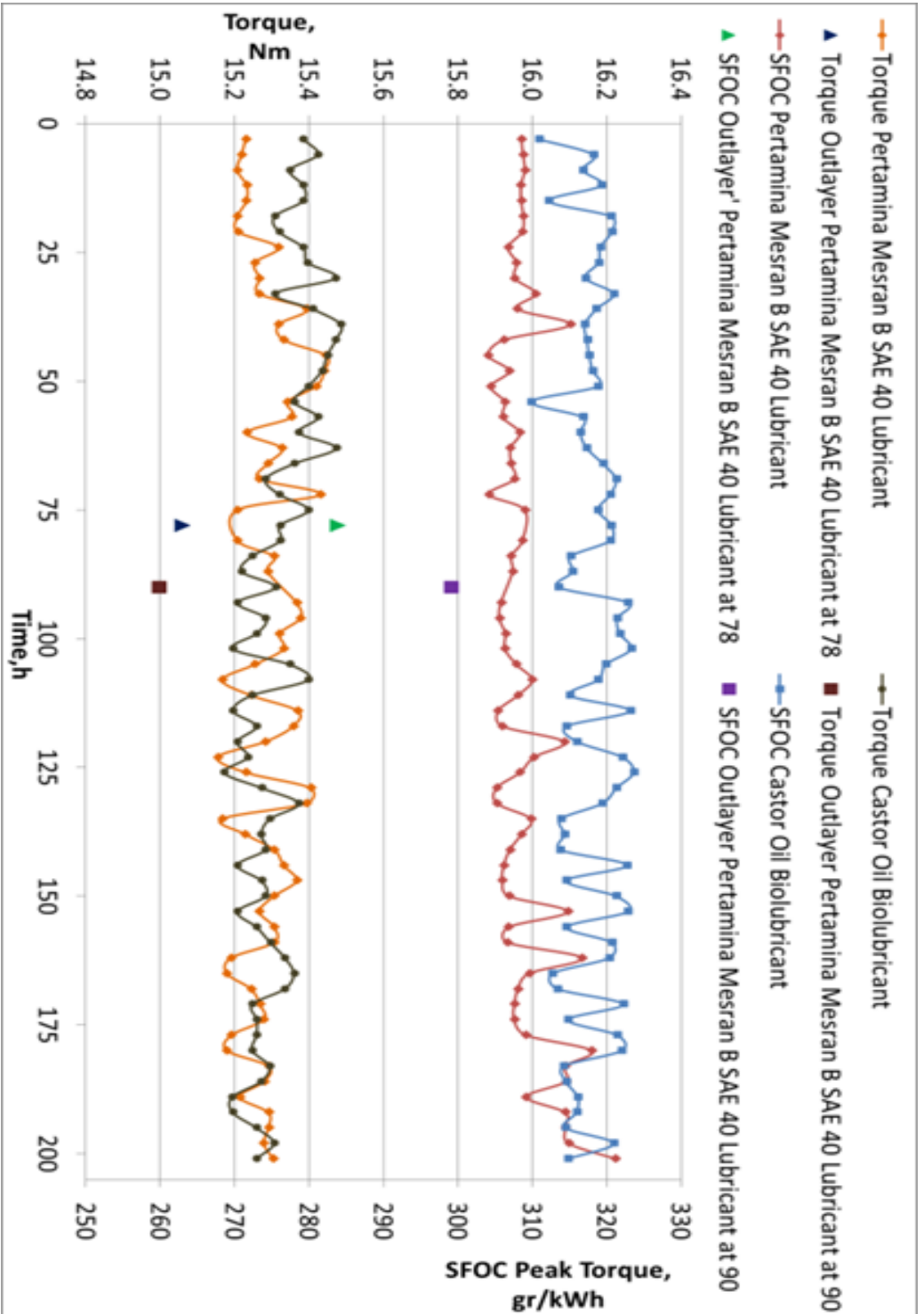
Grafik *Engine Performance*

a. Perbandingan Daya, SFOC Rated Speed, dan Waktu



Grafik 2.1 Perbandingan Daya, SFOC Rated Speed, dan Waktu

B. Perbandingan Torsi, SFOC Peak Torque, dan Waktu



Grafik 2.2 Perbandingan Torsi, SFOC Peak Torque, dan Waktu

LAMPIRAN III

TABEL PENGAMBILAN DATA

A. Pelumas Pertamina Mesran B SAE 40

Tabel 3.1 Data Pengamatan menggunakan Pelumas Pertamina Mesran B SAE 40

No.	Dummy Load	Putaran (Rpm)		Generator		Konsumsi Bahan Bakar		Data
		Engine	Generator	Tegangan	Arus	Waktu	Volume	
Low idle	0	850	620	3.4	0	30	100	0-3 Jam
High idle	750	1980	1391	201	2.9	30	320	
Rated Speed	2500	2200	1535	243	11.5	60	1250	
Max Torque	3000	1900	1320	201	12.36	60	1100	
Low idle	0	850	611.8	2.95	0	30	90	4-6 Jam
High idle	750	1980	1383	198	2.89	30	290	
Rated Speed	2500	2200	1529	244	11.47	60	1250	
Max Torque	3000	1900	1321	201	12.36	60	1100	
Low idle	0	850	615.8	2.87	0	30	100	7-9 Jam
High idle	750	1980	1388	194	2.84	30	250	
Rated Speed	2500	2200	1533	244	11.36	60	1250	
Max Torque	3000	1901	1322	201	12.36	60	1100	
Low idle	0	858	607	3.095	0	30	100	10-12 Jam
High idle	750	1980	1385	197	2.85	30	275	
Rated Speed	2500	2202	1531	246	11.34	60	1250	
Max Torque	3000	1903	1323	201	12.39	60	1100	
Low idle	0	880	615	3.315	0	30	100	13-15 Jam
High idle	750	1983	1385	197	2.86	30	275	
Rated Speed	2500	2201	1529	244	11.41	60	1250	
Max Torque	3000	1901	1322	201	12.38	60	1100	
Low idle	0	858	597	3.2	0	30	100	16-18 Jam
High idle	750	1979	1378	200	2.87	30	250	
Rated Speed	2500	2200	1530	245	11.37	60	1250	
Max Torque	3000	1902	1323	201	12.37	60	1100	
Low idle	0	919	621	3.35	0	30	100	19-21 Jam
High idle	750	1974	1386	191	2.83	30	300	
Rated Speed	2500	2200	1526	244	11.39	60	1230	
Max Torque	3000	1903	1324	201	12.38	60	1100	
Low idle	0	877	616	3.146	0	30	100	22-24 Jam
High idle	750	1981	1387	202	2.89	30	250	

Rated Speed	2500	2202	1531	247	11.36	60	1250	25-27 Jam
Max Torque	3000	1901	1319	202	12.36	60	1100	
Low idle	0	874	612	3.103	0	30	100	
High idle	750	1981	1387	202	2.89	30	260	
Rated Speed	2500	2200	1529	246	11.36	60	1250	28-30 Jam
Max Torque	3000	1902	1319	201	12.37	60	1100	
Low idle	0	860	602	3.22	0	30	100	
High idle	750	1981	1387	202	2.89	30	250	
Rated Speed	2500	2202	1531	247	11.36	60	1250	31-33 Jam
Max Torque	3000	1902	1319	201	12.38	60	1100	
Low idle	0	854	597	3.19	0	30	95	
High idle	750	1982	1384	198	2.88	30	250	
Rated Speed	2500	2201	1530	246	11.34	60	1250	34-36 Jam
Max Torque	3000	1902	1317	201	12.36	60	1110	
Low idle	0	856	600	3.16	0	30	100	
High idle	750	1981	1383	197	2.86	30	260	
Rated Speed	2500	2202	1531	247	11.36	60	1250	37-39 Jam
Max Torque	3000	1903	1320	203	12.4	60	1110	
Low idle	0	858	601	3.02	0	30	100	
High idle	750	1981	1393	201	2.89	30	280	
Rated Speed	2500	2202	1531	247	11.36	60	1250	40-42 Jam
Max Torque	3000	1901	1320	202	12.37	60	1130	
Low idle	0	870	610	3.07	0	30	110	
High idle	750	1982	1388	200	2.9	30	250	
Rated Speed	2500	2202	1531	247	11.36	60	1250	43-45 Jam
Max Torque	3000	1903	1322	202	12.4	60	1100	
Low idle	0	860	602	3.04	0	30	100	
High idle	750	1980	1387	199	2.89	30	250	
Rated Speed	2500	2204	1528	245	11.32	60	1250	46-48 Jam
Max Torque	3000	1902	1321	204	12.41	60	1100	
Low idle	0	854	599	3.03	0	30	95	
High idle	750	1982	1384	198	2.88	30	250	
Rated Speed	2500	2201	1530	246	11.36	60	1250	49-51 Jam
Max Torque	3000	1902	1317	199	12.36	60	1110	
Low idle	0	852	598	2.907	0	30	100	
High idle	750	1981	1393	200	2.86	30	250	
Rated Speed	2500	2202	1526	244	11.35	60	1250	

Max Torque	3000	1903	1320	203	12.39	60	1100	
Low idle	0	849	597	2.902	0	30	80	52-54 Jam
High idle	750	1982	1394	202	2.89	30	290	
Rated Speed	2500	2203	1528	245	11.33	60	1230	
Max Torque	3000	1901	1319	202	12.38	60	1100	
Low idle	0	853	600	2.916	0	30	100	55-57 Jam
High idle	750	1982	1394	201	2.88	30	250	
Rated Speed	2500	2203	1528	245	11.33	60	1250	
Max Torque	3000	1901	1318	202	12.38	60	1100	
Low idle	0	858	606	3.095	0	30	100	58-60 Jam
High idle	750	1981	1390	199	2.85	30	275	
Rated Speed	2500	2202	1531	246	11.34	60	1250	
Max Torque	3000	1902	1323	201	12.39	60	1100	
Low idle	0	856	593	2.93	0	30	75	61-63 Jam
High idle	750	1977	1383	201	2.88	30	300	
Rated Speed	2500	2202	1525	244	11.34	60	1250	
Max Torque	3000	1898	1315	202	12.33	60	1100	
Low idle	0	860	602	3.08	0	30	100	64-66 Jam
High idle	750	1981	1387	202	2.89	30	250	
Rated Speed	2500	2201	1530	247	11.36	60	1250	
Max Torque	3000	1902	1317	201	12.38	60	1100	
Low idle	0	858	597	2.98	0	30	100	67-69 Jam
High idle	750	1979	1378	200	2.85	30	250	
Rated Speed	2500	2200	1529	246	11.36	60	1250	
Max Torque	3000	1902	1319	201	12.38	60	1100	
Low idle	0	854	599	2.94	0	30	100	70-72 Jam
High idle	750	1982	1384	198	2.88	30	250	
Rated Speed	2500	2201	1531	246	11.34	60	1250	
Max Torque	3000	1903	1320	203	12.4	60	1100	
Low idle	0	856	603	2.83	0	30	100	73-75 Jam
High idle	750	1982	1385	201	2.88	30	250	
Rated Speed	2500	2201	1530	244	11.33	60	1250	
Max Torque	3000	1901	1322	201	12.36	60	1100	
Low idle	0	851	598	2.73	0	30	100	76-78 Jam
High idle	750	1983	1386	201	2.88	30	250	
Rated Speed	2500	2203	1500	238	11.16	60	1150	
Max Torque	3000	1900	1297	195	12.19	60	1000	

Low idle	0	862	606	2.93	0	30	100	79-81 Jam
High idle	750	1983	1386	201	2.88	30	260	
Rated Speed	2500	2201	1527	243	11.3	60	1250	
Max Torque	3000	1903	1323	201	12.37	60	1100	
Low idle	0	852	598	2.773	0	30	100	82-84 Jam
High idle	750	1982	1385	200	2.87	30	250	
Rated Speed	2500	2201	1525	242	11.32	60	1250	
Max Torque	3000	1900	1320	202	12.36	60	1100	
Low idle	0	877	616	3.09	0	30	100	85-87 Jam
High idle	750	1981	1387	202	2.89	30	250	
Rated Speed	2500	2202	1531	245	11.35	60	1250	
Max Torque	3000	1901	1317	201	12.38	60	1100	
Low idle	0	900	621	3.153	0	30	100	88-90 Jam
High idle	750	1980	1383	200	2.88	30	250	
Rated Speed	2500	2201	1504	240	11.21	60	1150	
Max Torque	3000	1901	1300	197	12.23	60	1050	
Low idle	0	860	604	2.97	0	30	100	91-93 Jam
High idle	750	1981	1390	202	2.84	30	250	
Rated Speed	2500	2202	1528	244	11.29	60	1250	
Max Torque	3000	1901	1318	202	12.39	60	1100	
Low idle	0	853	595	2.829	0	30	100	94-96 Jam
High idle	750	1982	1388	201	2.88	30	250	
Rated Speed	2500	2200	1527	242	11.34	60	1250	
Max Torque	3000	1901	1317	202	12.39	60	1100	
Low idle	0	856	598	2.921	0	30	100	97-99 Jam
High idle	750	1981	1386	201	2.86	30	250	
Rated Speed	2500	2201	1529	244	11.32	60	1250	
Max Torque	3000	1903	1324	202	12.41	60	1100	
Low idle	0	854	594	2.834	0	30	100	100-102 Jam
High idle	750	1983	1387	201	2.88	30	300	
Rated Speed	2500	2201	1529	245	11.32	60	1250	
Max Torque	3000	1902	1322	202	12.4	60	1100	
Low idle	0	853	595	2.794	0	30	100	103-105 Jam
High idle	750	1983	1386	201	2.87	30	300	
Rated Speed	2500	2202	1530	244	11.33	60	1250	
Max Torque	3000	1902	1320	201	12.38	60	1100	
Low idle	0	852	597	2.773	0	30	100	

High idle	750	1982	1385	200	2.87	30	300	106-108 Jam
Rated Speed	2500	2201	1528	242	11.32	60	1250	
Max Torque	3000	1900	1320	200	12.37	60	1100	
Low idle	0	853.1	598	2.853	0	30	100	109-111 Jam
High idle	750	1982	1384	201	2.85	30	300	
Rated Speed	2500	2202	1530	244	11.32	60	1250	
Max Torque	3000	1902	1322	201	12.39	60	1100	
Low idle	0	858	600.3	2.913	0	30	100	112-114 Jam
High idle	750	1983	1385	201	2.89	30	300	
Rated Speed	2500	2200	1529	245	11.31	60	1225	
Max Torque	3000	1903	1320	203	12.35	60	1100	
Low idle	0	854	592	2.821	0	30	100	115-117 Jam
High idle	750	1980	1382	200	2.88	30	275	
Rated Speed	2500	2201	1529	244	11.31	60	1250	
Max Torque	3000	1901	1321	203	12.35	60	1100	
Low idle	0	856	598.3	2.873	0	30	100	118-120 Jam
High idle	750	1981	1384	200	2.87	30	300	
Rated Speed	2500	2201	1531	245	11.33	60	1250	
Max Torque	3000	1902	1322	202	12.36	60	1125	
Low idle	0	852	597	2.77	0	30	100	121-123 Jam
High idle	750	1982	1385	202	2.89	30	300	
Rated Speed	2500	2201	1528	242	11.32	60	1250	
Max Torque	3000	1900	1320	200	12.36	60	1100	
Low idle	0	854.2	595	2.87	0	30	100	124-126 Jam
High idle	750	1981	1381	200	2.88	30	300	
Rated Speed	2500	2201	1530	243	11.33	60	1250	
Max Torque	3000	1902	1321	201	12.37	60	1100	
Low idle	0	854	590	2.78	0	30	100	127-129 Jam
High idle	750	1980	1382	202	2.88	30	350	
Rated Speed	2500	2200	1530	245	11.32	60	1275	
Max Torque	3000	1900	1317	203	12.35	60	1100	
Low idle	0	858	601.3	2.83	0	30	100	130-132 Jam
High idle	750	1981	1384	202	2.88	30	300	
Rated Speed	2500	2202	1531	245	11.3	60	1275	
Max Torque	3000	1901	1319	203	12.36	60	1100	
Low idle	0	853.7	598	2.795	0	30	100	
High idle	750	1983	1382	199	2.87	30	275	

Rated Speed	2500	2201	1529	242	11.33	60	1275	133-135 Jam
Max Torque	3000	1901	1319	200	12.36	60	1100	
Low idle	0	851.4	596.1	2.83	0	30	100	136-138 Jam
High idle	750	1983	1383	199	2.87	30	300	
Rated Speed	2500	2202	1530	243	11.32	60	1275	139-141 Jam
Max Torque	3000	1901	1319	201	12.35	60	1100	
Low idle	0	857.6	603.4	2.89	0	30	100	142-144 Jam
High idle	750	1982	1384	200	2.88	30	300	
Rated Speed	2500	2201	1528	243	11.31	60	1275	145-147 Jam
Max Torque	3000	1901	1321	202	12.37	60	1100	
Low idle	0	856.3	600.2	2.884	0	30	100	148-150 Jam
High idle	750	1981	1383	200	2.88	30	300	
Rated Speed	2500	2200	1529	244	11.32	60	1275	151-153 Jam
Max Torque	3000	1903	1321	202	12.39	60	1100	
Low idle	0	858.3	601.6	2.931	0	30	100	154-156 Jam
High idle	750	1982	1384	201	2.88	30	300	
Rated Speed	2500	2200	1530	245	11.32	60	1275	157-159 Jam
Max Torque	3000	1900	1317	203	12.32	60	1100	
Low idle	0	857	598	2.913	0	30	100	160-162 Jam
High idle	750	1979	1382	203	2.89	30	275	
Rated Speed	2500	2198	1526	244	11.33	60	1275	160-162 Jam
Max Torque	3000	1902	1320	202	12.36	60	1100	
Low idle	0	855.5	597.1	2.896	0	30	100	160-162 Jam
High idle	750	1981	1383	195	2.84	30	300	
Rated Speed	2500	2201	1529	245	11.32	60	1275	160-162 Jam
Max Torque	3000	1901	1320	201	12.39	60	1125	
Low idle	0	852.6	595.4	2.763	0	30	100	160-162 Jam
High idle	750	1981	1382	199	2.88	30	300	
Rated Speed	2500	2201	1529	244	11.32	60	1275	160-162 Jam
Max Torque	3000	1902	1321	202	12.37	60	1100	
Low idle	0	858.3	601.4	2.917	0	30	100	160-162 Jam
High idle	750	1982	1382	203	2.89	30	300	
Rated Speed	2500	2201	1530	244	11.32	60	1275	160-162 Jam
Max Torque	3000	1903	1321	202	12.37	60	1100	
Low idle	0	855	596.3	2.887	0	30	100	160-162 Jam
High idle	750	1981	1382	202	2.89	30	300	
Rated Speed	2500	2202	1531	245	11.32	60	1265	160-162 Jam

Max Torque	3000	1899	1318	200	12.37	60	1125	
Low idle	0	859	603.4	2.934	0	30	100	163-165 Jam
High idle	750	1982	1381	201	2.89	30	300	
Rated Speed	2500	2201	1530	245	11.31	60	1275	
Max Torque	3000	1901	1320	200	12.38	60	1100	
Low idle	0	856.7	599.3	2.914	0	30	100	166-168 Jam
High idle	750	1980	1381	200	2.88	30	300	
Rated Speed	2500	2201	1531	244	11.37	60	1275	
Max Torque	3000	1902	1322	201	12.39	60	1100	
Low idle	0	851.8	594	2.74	0	30	100	169-171 Jam
High idle	750	1983	1383	201	2.88	30	300	
Rated Speed	2500	2203	1534	247	11.37	60	1300	
Max Torque	3000	1902	1321	201	12.4	60	1100	
Low idle	0	857.2	600.3	2.914		30	100	172-174
High idle	750	1980	1381	200	2.88	30	300	
Rated Speed	2500	2201	1530	245	11.38	60	1275	
Max Torque	3000	1901	1319	201	12.39	60	1100	
Low idle	0	846.7	588.3	2.725	0	30	100	175-177 Jam
High idle	750	1978	1382	202	2.88	30	300	
Rated Speed	2500	2201	1530	247	11.38	60	1275	
Max Torque	3000	1902	1320	200	12.39	60	1100	
Low idle	0	852	595.3	2.889	0	30	100	178-180 Jam
High idle	750	1981	1381	201	2.88	30	275	
Rated Speed	2500	2202	1533	247	11.36	60	1275	
Max Torque	3000	1901	1320	200	12.38	60	1130	
Low idle	0	856	600.2	2.82	0	30	100	181-183 Jam
High idle	750	1980	1381	200	2.86	30	300	
Rated Speed	2500	2200	1528	243	11.33	60	1275	
Max Torque	3000	1900	1319	201	12.4	60	1125	
Low idle	0	853.4	592.7	2.79	0	30	100	184-186 Jam
High idle	750	1980	1381	200	2.87	30	275	
Rated Speed	2500	2201	1529	244	11.33	60	1275	
Max Torque	3000	1901	1320	201	12.4	60	1125	
Low idle	0	854	594	2.83	0	30	100	187-189 Jam
High idle	750	1982	1383	202	2.88	30	275	
Rated Speed	2500	2201	1530	245	11.33	60	1275	
Max Torque	3000	1899	1317	200	12.38	60	1100	

Low idle	0	858.3	601.4	2.85	0	30	100	190-192 Jam
High idle	750	1981	1382	202	2.88	30	300	
Rated Speed	2500	2199	1527	244	11.31	60	1275	
Max Torque	3000	1900	1319	201	12.4	60	1125	
Low idle	0	854.4	598	2.83	0	30	100	193-195 Jam
High idle	750	1978	1383	203	2.89	30	275	
Rated Speed	2500	2201	1529	246	11.33	60	1275	
Max Torque	3000	1900	1319	201	12.4	60	1125	
Low idle	0	857	601.4	2.79	0	30	100	196-198 Jam
High idle	750	1981	1382	200	2.87	30	300	
Rated Speed	2500	2202	1533	245	11.34	60	1275	
Max Torque	3000	1899	1319	201	12.39	60	1125	
Low idle	0	855	597	2.83	0	30	125	199-201 Jam
High idle	750	1980	1382	195	2.85	30	275	
Rated Speed	2500	2200	1530	245	11.35	60	1300	
Max Torque	3000	1900	1319	201	12.41	60	1150	

B. Biopelumas Minyak Jarak Keyyar

Tabel 3.2 Data pengamatan menggunakan Biopelumas Minyak Jarak Keyyar

No.	Dummy Load	Putaran Kontrol	Putaran (Rpm)		Generator		Bahan Bakar	Data
			Engine	Generator	Tegangan	Arus	Volume	
Low idle	0	850	853.6	593	2.947	0	100	0-3 Jam
High idle	750	1980	1982	1392	205	2.91	300	
Rated Speed	2500	2200	2202	1534	247	11.37	1275	
Max Torque	3000	1900	1901	1323	203	12.39	1125	
Low idle	0	850	857.1	601	3.013	0	100	4-6 Jam
High idle	750	1980	1981	1393	206	2.9	290	
Rated Speed	2500	2200	2200	1532	246	11.36	1275	
Max Torque	3000	1900	1903	1325	204	12.38	1125	
Low idle	0	850	861.3	605.9	3.214	0	100	7-9 Jam
High idle	750	1980	1980	1392	206	2.91	300	
Rated Speed	2500	2200	2202	1533	247	11.38	1300	
Max Torque	3000	1900	1902	1325	203	12.38	1140	
Low idle	0	850	852.6	587	2.932	0	100	10-12 Jam
High idle	750	1980	1981	1392	207	2.92	300	
Rated Speed	2500	2200	2201	1532	245	11.38	1300	
Max Torque	3000	1900	1901	1324	203	12.4	1150	

Low idle	0	850	845.2	585	2.898	0	100	13-15 Jam
High idle	750	1980	1983	1391	207	2.92	300	
Rated Speed	2500	2200	2200	1531	247	11.37	1300	
Max Torque	3000	1900	1902	1324	203	12.4	1125	
Low idle	0	850	854.2	590	2.924	0	100	16-18 Jam
High idle	750	1980	1981	1387	205	2.93	300	
Rated Speed	2500	2200	2201	1532	247	11.38	1275	
Max Torque	3000	1900	1903	1322	202	12.38	1150	
Low idle	0	850	858.3	602	3.014	0	100	19-21 Jam
High idle	750	1980	1981	1389	205	2.92	300	
Rated Speed	2500	2200	2201	1534	247	11.39	1300	
Max Torque	3000	1900	1901	1321	202	12.38	1150	
Low idle	0	850	855.1	597	2.983	0	100	22-24 Jam
High idle	750	1980	1982	1387	206	2.93	300	
Rated Speed	2500	2200	2202	1533	247	11.4	1275	
Max Torque	3000	1900	1902	1323	203	12.39	1150	
Low idle	0	850	859.3	605	3.21	0	100	25-27 Jam
High idle	750	1980	1983	1390	206	2.92	300	
Rated Speed	2500	2200	2201	1533	247	11.38	1275	
Max Torque	3000	1900	1902	1323	203	12.4	1150	
Low idle	0	850	863.9	613	3.249	0	100	28-30 Jam
High idle	750	1980	1981	1390	208	2.91	300	
Rated Speed	2500	2200	2201	1535	246	11.36	1300	
Max Torque	3000	1900	1903	1323	204	12.4	1150	
Low idle	0	850	854.6	589	2.894	0	100	31-33 Jam
High idle	750	1980	1981	1391	208	2.92	300	
Rated Speed	2500	2200	2202	1534	247	11.36	1275	
Max Torque	3000	1900	1901	1322	202	12.38	1150	
Low idle	0	850	859.6	593	2.961	0	100	34-36 Jam
High idle	750	1980	1981	1390	207	2.92	300	
Rated Speed	2500	2200	2201	1533	247	11.39	1300	
Max Torque	3000	1900	1902	1324	203	12.4	1150	
Low idle	0	850	861.3	604	3.013	0	100	37-39 Jam
High idle	750	1980	1980	1389	208	2.93	300	
Rated Speed	2500	2200	2200	1532	246	11.38	1300	
Max Torque	3000	1900	1902	1324	204	12.42	1150	
Low idle	0	850	859.4	601	2.987	0	100	40-42

High idle	750	1980	1981	1390	207	2.91	300	Jam
Rated Speed	2500	2200	2202	1534	246	11.37	1275	
Max Torque	3000	1900	1902	1323	204	12.4	1150	
Low idle	0	850	873	621	3.31	0	100	43-45 Jam
High idle	750	1980	1978	1386	204	2.91	300	
Rated Speed	2500	2200	2201	1535	247	11.34	1300	
Max Torque	3000	1900	1903	1325	204	12.4	1150	
Low idle	0	850	858.3	598	2.976	0	100	46-48 Jam
High idle	750	1980	1980	1384	204	2.9	300	
Rated Speed	2500	2200	2201	1534	246	11.33	1300	
Max Torque	3000	1900	1902	1323	204	12.4	1150	
Low idle	0	850	861.4	602.3	3.021	0	100	49-51 Jam
High idle	750	1980	1981	1387	203	2.9	300	
Rated Speed	2500	2200	2202	1533	246	11.36	1300	
Max Torque	3000	1900	1902	1324	204	12.35	1150	
Low idle	0	850	862.3	605.6	3.124	0	100	52-54 Jam
High idle	750	1980	1982	1386	204	2.91	275	
Rated Speed	2500	2200	2201	1534	246	11.35	1300	
Max Torque	3000	1900	1901	1323	203	12.37	1125	
Low idle	0	850	856.1	583	2.763	0	100	55-57 Jam
High idle	750	1980	1980	1385	203	2.88	275	
Rated Speed	2500	2200	2202	1535	247	11.35	1290	
Max Torque	3000	1900	1902	1325	204	12.38	1150	
Low idle	0	850	858.3	589	2.876	0	100	58-60 Jam
High idle	750	1980	1981	1388	204	2.91	275	
Rated Speed	2500	2200	2202	1534	247	11.38	1300	
Max Torque	3000	1900	1901	1324	203	12.39	1150	
Low idle	0	850	859.4	601	2.983	0	100	61-63 Jam
High idle	750	1980	1980	1389	206	2.93	275	
Rated Speed	2500	2200	2200	1532	246	11.38	1300	
Max Torque	3000	1900	1902	1324	204	12.41	1150	
Low idle	0	850	862.3	613.4	3.142	0	100	64-66 Jam
High idle	750	1980	1980	1391	204	2.91	275	
Rated Speed	2500	2200	2201	1534	246	11.36	1300	
Max Torque	3000	1900	1903	1325	203	12.39	1150	
Low idle	0	850	858.3	600	2.934	0	100	67-69 Jam
High idle	750	1980	1980	1390	205	2.91	275	

Rated Speed	2500	2200	2202	1532	247	11.36	1300	70-72 Jam
Max Torque	3000	1900	1902	1323	202	12.37	1150	
Low idle	0	850	855.1	576	2.771	0	100	
High idle	750	1980	1981	1391	205	2.93	300	
Rated Speed	2500	2200	2201	1533	245	11.34	1290	73-75 Jam
Max Torque	3000	1900	1902	1322	202	12.39	1150	
Low idle	0	850	855.6	600	2.95	0	100	
High idle	750	1980	1982	1385	207	2.91	300	
Rated Speed	2500	2200	2201	1532	246	11.34	1300	76-78 Jam
Max Torque	3000	1900	1902	1325	204	12.36	1150	
Low idle	0	850	858.2	601	2.99	0	100	
High idle	750	1980	1981	1384	206	2.92	275	
Rated Speed	2500	2200	2202	1533	247	11.34	1300	79-81 Jam
Max Torque	3000	1900	1901	1323	203	12.34	1150	
Low idle	0	850	856.3	602	2.98	0	100	
High idle	750	1980	1981	1383	205	2.92	280	
Rated Speed	2500	2200	2203	1532	247	11.34	1300	82-84 Jam
Max Torque	3000	1900	1902	1324	203	12.35	1150	
Low idle	0	850	852.4	599	2.91	0	100	
High idle	750	1980	1982	1385	206	2.9	300	
Rated Speed	2500	2200	2201	1533	245	11.36	1300	85-87 Jam
Max Torque	3000	1900	1901	1323	202	12.34	1125	
Low idle	0	850	849.3	591	2.81	0	100	
High idle	750	1980	1980	1384	206	2.91	300	
Rated Speed	2500	2200	2202	1533	245	11.34	1300	88-90 Jam
Max Torque	3000	1900	1903	1321	201	12.36	1125	
Low idle	0	850	852.6	596	2.85	0	100	
High idle	750	1980	1980	1386	204	2.91	300	
Rated Speed	2500	2200	2201	1535	246	11.34	1300	91-93 Jam
Max Torque	3000	1900	1903	1324	203	12.34	1125	
Low idle	0	850	845.5	582	278	0	100	
High idle	750	1980	1980	1387	204	2.91	250	
Rated Speed	2500	2200	2203	1532	246	11.35	1300	94-96 Jam
Max Torque	3000	1900	1902	1322	201	12.36	1150	
Low idle	0	850	865.3	619	3.314	0	100	
High idle	750	1980	1981	1386	204	2.92	275	
Rated Speed	2500	2200	2202	1533	247	11.34	1300	

Max Torque	3000	1900	1901	1323	202	12.37	1150	
Low idle	0	850	858.3	593	2.93	0	100	97-99 Jam
High idle	750	1980	1981	1388	204	2.92	275	
Rated Speed	2500	2200	2202	1532	246	11.36	1300	
Max Torque	3000	1900	1902	1324	202	12.36	1150	
Low idle	0	850	846.2	589	2.81	0	100	100-102 Jam
High idle	750	1980	1982	1387	204	2.93	275	
Rated Speed	2500	2200	2201	1530	246	11.33	1300	
Max Torque	3000	1900	1901	1322	201	12.35	1125	
Low idle	0	850	859.3	596	2.98	0	100	103-105 Jam
High idle	750	1980	1980	1387	203	2.91	300	
Rated Speed	2500	2200	2202	1534	247	11.35	1300	
Max Torque	3000	1900	1902	1324	203	12.37	1150	
Low idle	0	850	861.3	602	3.021	0	100	106-108 Jam
High idle	750	1980	1981	1388	204	2.91	300	
Rated Speed	2500	2200	2203	1535	248	11.34	1300	
Max Torque	3000	1900	1902	1325	204	12.36	1150	
Low idle	0	850	852.2	601	2.91	0	100	109-111 Jam
High idle	750	1980	1981	1389	207	2.93	250	
Rated Speed	2500	2200	2200	1528	247	11.36	1300	
Max Torque	3000	1900	1902	1324	202	12.35	1125	
Low idle	0	850	863.1	610	3.13	0	100	112-114 Jam
High idle	750	1980	1985	1393	201	2.89	250	
Rated Speed	2500	2200	2202	1530	246	11.36	1300	
Max Torque	3000	1900	1902	1323	201	12.36	1150	
Low idle	0	850	853.4	584.5	2.793	0	100	115-117 Jam
High idle	750	1980	1983	1391	201	2.91	250	
Rated Speed	2500	2200	2202	1532	247	11.37	1300	
Max Torque	3000	1900	1903	1323	202	12.35	1125	
Low idle	0	850	857.4	593.3	2.924	0	100	118-120 Jam
High idle	750	1980	1982	1392	202	2.91	275	
Rated Speed	2500	2200	2201	1534	246	11.36	1275	
Max Torque	3000	1900	1901	1322	201	12.36	1125	
Low idle	0	850	871	621.4	3.326	0	100	121-123 Jam
High idle	750	1980	1983	1392	202	2.93	300	
Rated Speed	2500	2200	2202	1533	247	11.37	1300	
Max Torque	3000	1900	1903	1325	202	12.35	1150	

Low idle	0	850	863.2	609	3.192	0	100	124-126 Jam
High idle	750	1980	1982	1390	202	2.92	300	
Rated Speed	2500	2200	2201	1533	247	11.36	1300	
Max Torque	3000	1900	1902	1324	201	12.35	1150	
Low idle	0	850	873	621	3.31	0	100	127-129 Jam
High idle	750	1980	1978	1386	204	2.91	300	
Rated Speed	2500	2200	2201	1535	246	11.34	1300	
Max Torque	3000	1900	1903	1325	202	12.38	1150	
Low idle	0	850	857.3	598.2	2.92	0	100	130-132 Jam
High idle	750	1980	1983	1391	207	2.91	300	
Rated Speed	2500	2200	2201	1533	246	11.37	1300	
Max Torque	3000	1900	1902	1324	203	12.39	1150	
Low idle	0	850	852.7	594.1	2.83	0	100	133-135 Jam
High idle	750	1980	1982	1389	207	2.92	260	
Rated Speed	2500	2200	2203	1532	247	11.38	1300	
Max Torque	3000	1900	1903	1322	202	12.37	1125	
Low idle	0	850	854.1	596	2.89	0	100	136-138 Jam
High idle	750	1980	1982	1390	207	2.92	250	
Rated Speed	2500	2200	2202	1533	247	11.37	1300	
Max Torque	3000	1900	1903	1323	202	12.36	1125	
Low idle	0	850	865.2	617	3.21	0	100	139-141 Jam
High idle	750	1980	1982	1393	204	2.91	300	
Rated Speed	2500	2200	2200	1532	245	11.36	1300	
Max Torque	3000	1900	1905	1323	202	12.37	1125	
Low idle	0	850	852.8	593	2.812	0	100	142-144 Jam
High idle	750	1980	1982	1391	205	2.91	300	
Rated Speed	2500	2200	2203	1534	246	11.36	1275	
Max Torque	3000	1900	1903	1322	201	12.36	1150	
Low idle	0	850	857.8	601	3.02	0	100	145-147 Jam
High idle	750	1980	1983	1392	204	2.92	275	
Rated Speed	2500	2200	2201	1533	247	11.35	1300	
Max Torque	3000	1900	1902	1324	202	12.37	1125	
Low idle	0	850	858.3	600	2.934	0	100	148-150 Jam
High idle	750	1980	1980	1390	205	2.91	275	
Rated Speed	2500	2200	2202	1532	247	11.36	1300	
Max Torque	3000	1900	1902	1323	202	12.37	1150	
Low idle	0	850	845.5	582	278	0	100	

High idle	750	1980	1980	1387	204	2.91	250	151-153 Jam
Rated Speed	2500	2200	2203	1532	246	11.35	1300	
Max Torque	3000	1900	1902	1322	201	12.36	1150	
Low idle	0	850	853.4	584.5	2.793	0	100	154-156 Jam
High idle	750	1980	1983	1391	201	2.91	250	
Rated Speed	2500	2200	2202	1532	247	11.37	1300	
Max Torque	3000	1900	1903	1323	202	12.35	1125	157-159 Jam
Low idle	0	850	846.1	565.8	2.65	0	100	
High idle	750	1980	1980	1389	207	2.92	275	
Rated Speed	2500	2200	2201	1532	246	11.33	1300	160-162 Jam
Max Torque	3000	1900	1904	1323	202	12.38	1150	
Low idle	0	850	858.9	593	2.942	0	100	
High idle	750	1980	1982	1390	206	2.91	250	163-165 Jam
Rated Speed	2500	2200	2203	1533	247	11.34	1300	
Max Torque	3000	1900	1901	1324	203	12.36	1150	
Low idle	0	850	856.2	586	2.834	0	100	166-168 Jam
High idle	750	1980	1983	1389	205	2.91	250	
Rated Speed	2500	2200	2204	1534	246	11.34	1300	
Max Torque	3000	1900	1902	1323	203	12.37	1125	169-171 Jam
Low idle	0	850	861.2	603	2.981	0	100	
High idle	750	1980	1983	1391	206	2.91	250	
Rated Speed	2500	2200	2202	1532	246	11.35	1275	172-174 Jam
Max Torque	3000	1900	1901	1324	203	12.36	1125	
Low idle	0	850	853	581	2.85	0	100	
High idle	750	1980	1982	1391	207	2.92	250	175-177 Jam
Rated Speed	2500	2200	2202	1533	247	11.35	1300	
Max Torque	3000	1900	1901	1324	202	12.35	1150	
Low idle	0	850	854.9	592	2.89	0	100	178-180 Jam
High idle	750	1980	1983	1392	206	2.91	275	
Rated Speed	2500	2200	2201	1534	247	11.36	1275	
Max Torque	3000	1900	1902	1324	202	12.36	1125	175-177 Jam
Low idle	0	850	857.6	599	2.93	0	100	
High idle	750	1980	1983	1392	206	2.92	275	
Rated Speed	2500	2200	2202	1533	247	11.35	1300	178-180 Jam
Max Torque	3000	1900	1904	1323	202	12.35	1150	
Low idle	0	850	852.4	578	2.74	0	100	
High idle	750	1980	1981	1392	207	2.92	275	

Rated Speed	2500	2200	2202	1531	247	11.36	1300	
Max Torque	3000	1900	1902	1324	202	12.35	1150	
Low idle	0	850	853	589	2.81	0	100	181-183 Jam
High idle	750	1980	1980	1390	208	2.93	275	
Rated Speed	2500	2200	2201	1530	245	11.36	1300	
Max Torque	3000	1900	1901	1320	202	12.35	1125	
Low idle	0	850	861	593	2.86	0	100	184-186 Jam
High idle	750	1980	1981	1390	207	2.9	275	
Rated Speed	2500	2200	2202	1531	246	11.37	1300	
Max Torque	3000	1900	1902	1323	202	12.36	1125	
Low idle	0	850	861	606	2.83	0	100	187-189 Jam
High idle	750	1980	1981	1389	204	2.91	275	
Rated Speed	2500	2200	2202	1530	245	11.36	1300	
Max Torque	3000	1900	1902	1321	201	12.34	1125	
Low idle	0	850	857.6	600	2.82	0	100	190-192 Jam
High idle	750	1980	1981	1391	205	2.91	275	
Rated Speed	2500	2200	2201	1530	246	11.34	1300	
Max Torque	3000	1900	1903	1322	201	12.35	1125	
Low idle	0	850	861.9	602	2.93	0	100	193-195 Jam
High idle	750	1980	1981	1391	208	2.92	250	
Rated Speed	2500	2200	2203	1530	245	11.36	1275	
Max Torque	3000	1900	1904	1323	202	12.35	1125	
Low idle	0	850	853	589	2.81	0	100	196-198 Jam
High idle	750	1980	1980	1390	204	2.9	300	
Rated Speed	2500	2200	2201	1530	246	11.35	1300	
Max Torque	3000	1900	1901	1320	202	12.36	1150	
Low idle	0	850	856.6	591.3	2.89	0	100	199-201 Jam
High idle	750	1980	1980	1390	209	2.93	250	
Rated Speed	2500	2200	2204	1530	247	11.34	1300	
Max Torque	3000	1900	1902	1322	202	12.34	1125	

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BIOADATA PENULIS



Penulis bernama Aridhanka Youri Al Kahfi, merupakan putra nomor 3 dari 3 bersaudara. Ayah dari penulis bernama Soedirna dan Ibu dari penulis bernama Sri Nastiti Handayani. Lahir pada tanggal 25 September 1997, di Jakarta. Penulis telah menyelesaikan jenjang pendidikan formal dasar di SD Negeri 03 Cipinang Melayu Jakarta, jenjang menengah pertama di SMP Negeri 255 Jakarta Timur, jenjang menengah atas di SMA Negeri 81 Jakarta, dan melanjutkan pendidikan tinggi di Departemen Teknik Sistem Perkapalan Program Reguler, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya di bidang Marine Power Plant (MPP). Penulis pernah menjalankan on the job training di beberapa perusahaan yaitu PT. Samudera Marine Indonesia dan PT. Pertamina EP Asset 4. Selain aktivitas akademik, penulis berpengalaman dan aktif tergabung dalam beberapa organisasi. Penulis pernah bergabung dalam pengurus HIMASISKAL ITS sebagai staff Hubungan Dalam pada tahun 2016 - 2018 dan sebagai Kepala Departemen Hubungan Dalam tahun 2018. Dan menjadi panitia sub. Lomba Marine Diesel Assembly (MDA) Marine Icon 2016 dan Marine Icon 2017 serta menjadi Staff laboratorium MPP. Selain itu, penulis aktif dalam mengikuti kegiatan pengembangan softskills seperti LKMM Pra TD, LKMM TD, dan Marine Leadership School. Penulis dapat dihubungi melalui aridhanka.youri@gmail.com.

