

**PEMANFAATAN *EPOXIED FATTY ACID METHYL*  
*ESTER GLISEROL (EFAMEGLI)* SEBAGAI MINYAK  
DASAR PELUMAS MESIN 2T**

**SKRIPSI**

Oleh

**WEGIK DWI PRASETYO**

**04 04 06 06 24**



**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
GENAP 2007/2008**

**PEMANFAATAN *EPOXIED FATTY ACID METHYL  
ESTER GLISEROL (EFAMEGLI)* SEBAGAI MINYAK  
DASAR PELUMAS MESIN 2T**

**SKRIPSI**

Oleh

**WEGIK DWI PRASETYO**

**04 04 06 06 24**



**SKRIPSI INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI  
SEBAGIAN PERSYARATAN MENJADI SARJANA TEKNIK**

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
GENAP 2007/2008**

## **PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI**

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul:

### **PEMANFAATAN *EPOXIED FATTY ACID METHYL ESTER* GLISEROL (EFAMEGLI) SEBAGAI MINYAK DASAR PELUMAS MESIN 2T**

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok, 21 Juli 2008

Wegik Dwi Prasetyo

NPM 04 04 06 06 24

# PENGESAHAN

Skripsi dengan judul:

**PEMANFAATAN *EPOXIED FATTY ACID METHYL ESTER GLISEROL*  
(EFAMEGLI) SEBAGAI MINYAK DASAR PELUMAS MESIN 2T**

dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Skripsi ini telah diujikan pada sidang ujian skripsi pada tanggal 9 Juli 2008 dan dinyatakan memenuhi syarat/sah sebagai skripsi pada Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Depok, 21 Juli 2008

Dosen Pembimbing

Ir. Sukirno, M.Eng.

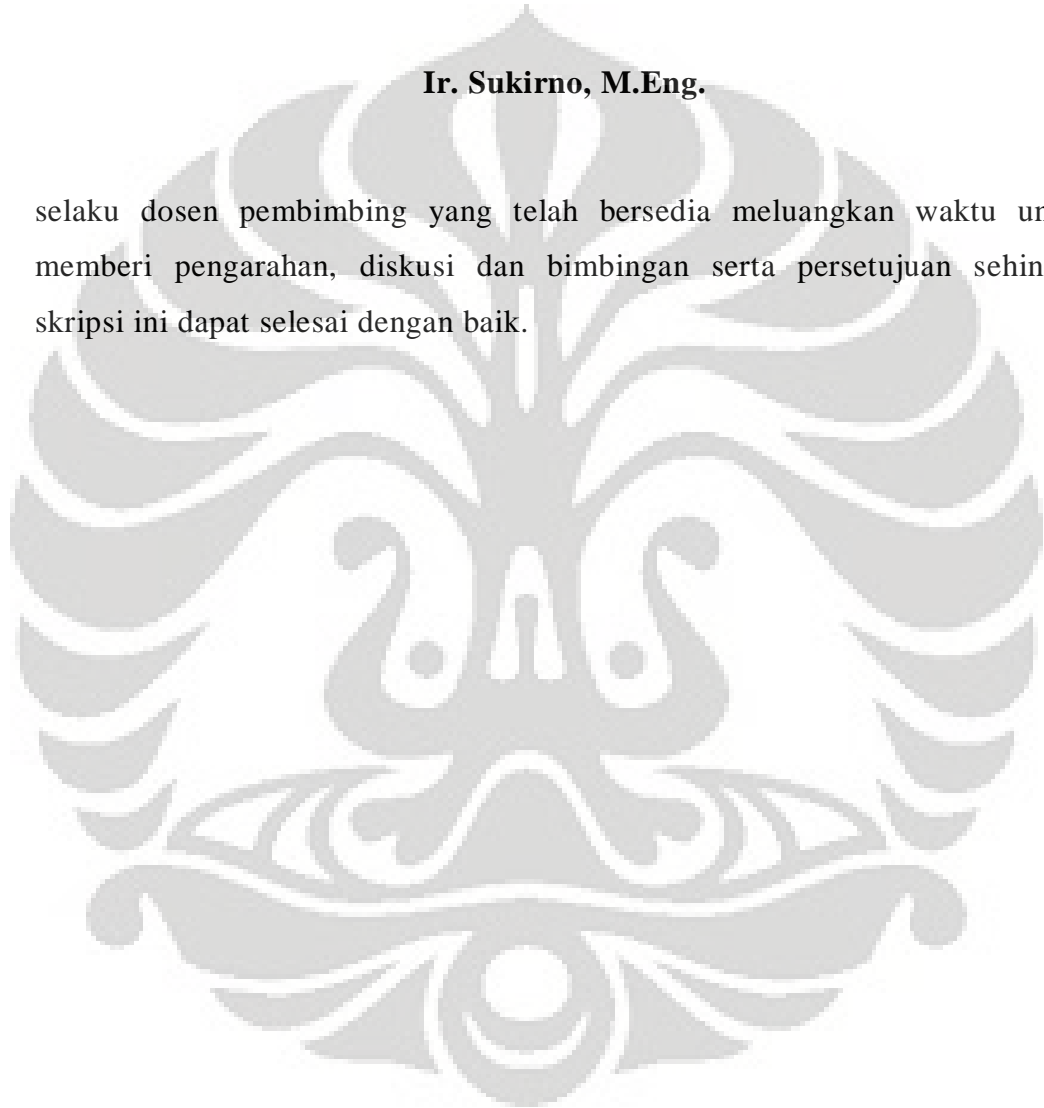
NIP 131 845 731

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

**Ir. Sukirno, M.Eng.**

selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi dan bimbingan serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik.



Wegik Dwi Prasetyo

NPM 04 04 06 06 24

Departemen Teknik Kimia

Dosen Pembimbing

Ir. Sukirno, M.Eng.

**PEMANFAATAN EPOXIED FATTY ACID METHYL ESTER  
GLISEROL (EFAMEGLI) SEBAGAI MINYAK DASAR PELUMAS  
MESIN 2T**

**ABSTRAK**

Energi dan emisi gas buang erat kaitannya dengan pelumas yang digunakan. Apabila pelumas dapat mengurangi friksi yang timbul akibat pergerakan komponen-komponen mesin maka energi yang dihasilkan mesin dapat optimal karena energi yang hilang akibat friksi rendah. Pelumas juga berpengaruh terhadap emisi gas buang terutama dalam mesin 2T karena pelumas ikut terbakar di dalam silinder mesin.

Penelitian ini merupakan studi awal pemanfaatan EFAMEGLI sebagai minyak dasar pelumas mesin 2T dengan mencampurkan EFAMEGLI ke dalam pelumas mesin 2T dalam berbagai variasi konsentrasi. Parameter-parameter yang diukur adalah energi dan emisi gas buang (CO, CO<sub>2</sub>, HC, NO<sub>x</sub>, O<sub>2</sub>) yang dihasilkan oleh mesin. Mesin 2T generator listrik digunakan sebagai alat uji. Rasio bahan bakar : pelumas pada mesin 2T generator listrik adalah 50:1. Konsentrasi EFAMEGLI didalam pelumas mesin 2T divariasikan dari 0 (tanpa EFAMEGLI), 1, 25, 50, 75 dan 100%. Beban mesin diset pada 400 watt.

Mesin 2T generator listrik yang menggunakan EFAMEGLI 1% menghasilkan energi 1% lebih tinggi dan EFAMEGLI 25% menghasilkan energi 6% lebih tinggi tapi EFAMEGLI 50%, 75% dan 100% menghasilkan energi 1% lebih rendah. Penggunaan EFAMEGLI sebagai pelumas mesin 2T menghasilkan emisi CO yang lebih rendah, CO<sub>2</sub> lebih tinggi, O<sub>2</sub> lebih tinggi, NO<sub>x</sub> lebih tinggi dan HC lebih rendah dibandingkan dengan emisi yang dihasilkan oleh mesin yang sama yang menggunakan pelumas mineral.

EFAMEGLI dapat dijadikan sebagai minyak dasar pelumas 2T karena selama pengujian sample, mesin tidak mati dan penggunaan EFAMEGLI sebagai pelumas menghasilkan emisi gas buang yang lebih bersih.

**Kata kunci: Energi, Emisi, EFAMEGLI, Mesin 2T, Minyak Dasar**

Wegik Dwi Prasetyo

Counsellor

NPM 04 04 06 06 24

Ir. Sukirno, M.Eng.

Chemical Engineering Department

## **USING EPOXIED FATTY ACID METHYL ESTER GLYCEROL (EFAMEGLI) AS BASE OIL OF TWO STROKES ENGINE'S OIL**

### **ABSTRACT**

Energy and exhaust gas emission are influenced by lubrication. If lubricant can reduce friction occurred between moving surfaces in the engine, energy is produced will be optimal. In the two strokes engine, the lubricant will be burned in the engine cylinder and influencing the exhaust gas emission.

This research is a prestudy of using EFAMEGLI as base oil of two strokes engine's oil. EFAMEGLI was mixed into two stroke engine's oil. Energy and exhaust gas emission (CO, CO<sub>2</sub>, HC, NO<sub>x</sub>, O<sub>2</sub>) that is produced by engine were measured. Electrical genset which is two strokes engine type was used as testing engine. The ratio of fuel : lubricant is 50 :1. The concentration of EFAMEGLI in the two stroke engine's oil was variated from 0 (zero EFAMEGLI), 1, 25, 50, 75 and 100%. The engine load was set constant at 400 watt.

Two strokes engine of electrical genset used EFAMEGLI 1% produced energy about 1% higher and EFAMEGLI 25% produced 6% higher energy, but engine used EFAMEGLI 50%, 75% and 100% produced energy about 1% lower. Engine used EFAMEGLI as the lubricant produced CO lower, CO<sub>2</sub> higher, HC lower, NO<sub>x</sub> higher and O<sub>2</sub> higher compare with emission produced by the same engine using mineral oil as its lubricant.

EFAMEGLI can be used as base oil of two stroke engine's oil because there is no malfunction during the engine operation and engine used EFAMEGLI as its lubricant, produced cleaner exhaust gas emission.

**Keywords : Energy, Emission, EFAMEGLI, Two Strokes Engine**

**Base Oil**

# DAFTAR ISI

	Halaman
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR SINGKATAN	xiv
DAFTAR SIMBOL	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 RUMUSAN PERMASALAHAN	2
1.3 TUJUAN PENELITIAN	3
1.4 BATASAN MASALAH	3
1.5 SISTEMATIKA PENULISAN	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 PELUMAS	5
2.1.1 Fungsi Pelumas	5
2.1.2 Properties Kualitas Pelumas	6
2.2 PRINSIP DASAR PELUMASAN	8



2.2.1 Friksi	9
2.2.2 Pelumasan Batas ( <i>Boundary Lubrication</i> )	10
2.2.2.1 Adsorpsi	11
2.2.2.2 Penyerapan Kimia ( <i>Chemisorption</i> )	13
2.2.2.3 Reaksi Kimia	13
2.2.3 Keausan ( <i>Wear</i> )	14
2.2.4 Parameter Penilaian Kinerja Pelumas	15
2.3 KOMPONEN PELUMAS	17
2.3.1 Minyak Dasar	20
2.3.2 Additif	21
2.4 BAHAN PELUMAS DARI MINYAK SAWIT	26
2.4.1 Minyak Sawit	26
2.4.2 EFAME Gliserol	27
2.5 SISTEM PELUMASAN MESIN 2T	29
2.5.1 Silinder Mesin	29
2.5.2 Komponen Pelumas Mesin 2T	31
BAB III METODE PENELITIAN	33
3.1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN	33
3.2 ALAT PENGUJIAN	34
3.3 PENYIAPAN SAMPLE	35
3.4 VARIABEL PENELITIAN	36
3.5 PROSEDUR PENGUJIAN	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1 HASIL <i>TRIAL RUN</i> ALAT UJI	39
4.2 HASIL PENGUJIAN SAMPLE	42
4.2.1 Analisa Perbandingan Energi	43

4.2.2 Analisa Emisi Gas Buang	44
4.2.2.1 <i>Emisi Gas Buang CO dan CO<sub>2</sub></i>	44
4.2.2.2 <i>Emisi Gas Buang HC</i>	45
4.2.2.3 <i>Emisi Gas Buang O<sub>2</sub></i>	46
4.2.2.4 <i>Emisi Gas Buang NOx</i>	47
BAB V PENUTUP	48
5.1 KESIMPULAN	48
5.2 SARAN	49
DAFTAR PUSTAKA	50
LAMPIRAN	51



## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 2.1</b> Kontak pada asperities dua permukaan padat	10
<b>Gambar 2.2</b> Kurva Stribeck	11
<b>Gambar 2.3</b> Adsorpsi alkohol rantai panjang	12
<b>Gambar 2.4</b> Proses chemisorpsi asam stearat pada besi	13
<b>Gambar 2.5</b> Tipe utama hidrokarbon	18
<b>Gambar 2.6</b> Ketahanan terhadap oksidasi	21
<b>Gambar 2.7</b> Penggunaan inhibitor karat untuk melindungi permukaan logam dari kelembaban	23
<b>Gambar 2.8</b> Efek penambahan <i>viscosity modifier</i>	24
<b>Gambar 2.9</b> Struktur molekul trigliserida	26
<b>Gambar 2.10</b> Grafik hasil uji mikrooksidasi	29
<b>Gambar 2.11</b> Bagian-bagian mesin	30
<b>Gambar 3.1</b> Diagram alir penelitian	33
<b>Gambar 3.2</b> Skema alat penelitian	34
<b>Gambar 4.1</b> Hasil <i>trial run</i> pada beban 400 watt (1)	40
<b>Gambar 4.2</b> Hasil <i>trial run</i> pada beban 700 watt	40
<b>Gambar 4.3</b> Hasil <i>trial run</i> pada beban 400 watt (2)	41
<b>Gambar 4.4</b> Hasil <i>trial run</i> pada beban 200 watt	42
<b>Gambar 4.5</b> Hasil pengujian sample pada beban 400 watt	43

<b>Gambar 4.6</b> Emisi gas CO dan CO <sub>2</sub> pada beban 400 watt	44
<b>Gambar 4.7</b> Emisi gas HC pada beban 400 watt	45
<b>Gambar 4.8</b> Emisi gas O <sub>2</sub> pada beban 400 watt	46
<b>Gambar 4.9</b> Emisi gas NO <sub>x</sub> pada beban 400 watt	47



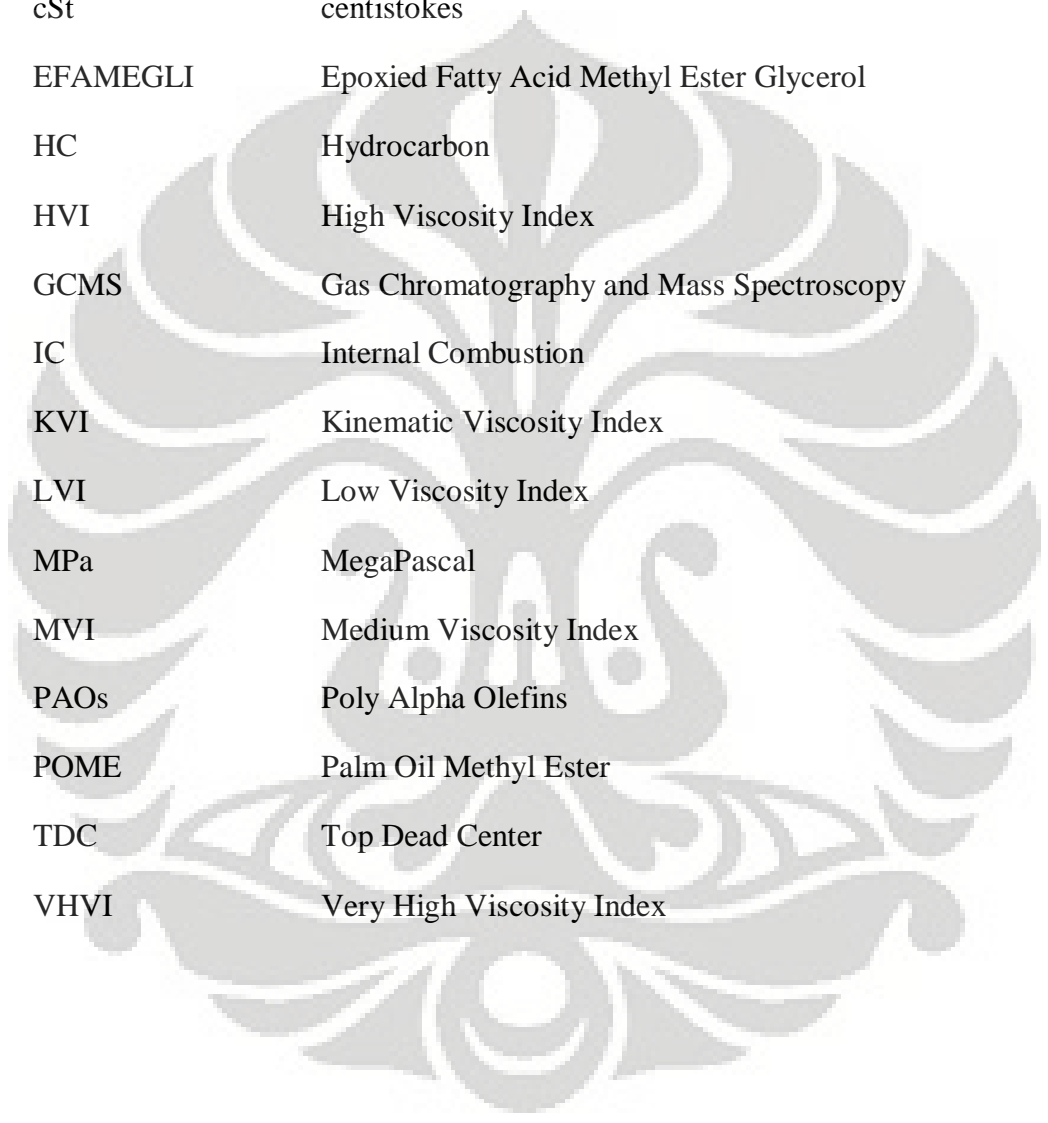
## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 2.1</b> Komposisi Minyak Mineral	18
<b>Tabel 2.2</b> Klasifikasi Minyak Pelumas Berdasarkan Indeks Viskositas	19
<b>Tabel 2.3</b> Klasifikasi Minyak Dasar	21
<b>Tabel 2.4</b> Additif Anti Oksidan	22
<b>Tabel 2.5</b> Inhibitor Karat	23
<b>Tabel 2.6</b> <i>Viscosity Modifier</i>	24
<b>Tabel 2.7</b> Additif <i>Detergent</i>	25
<b>Tabel 2.8</b> Kandungan Trigliserida Berdasar Asam Lemak dari Beberapa Minyak dan Lemak	27
<b>Tabel 2.9</b> Perbandingan Viskositas EFAMEGLI dan HVI 160 S	28
<b>Tabel 3.1</b> Spesifikasi Mesin Generator TG-1200	35
<b>Tabel 3.2</b> Perbandingan Jumlah Pertamina, Pelumas Mesin 2T dan EFAMEGLI dalam Sample	36
<b>Tabel 3.3</b> Alat dan Bahan untuk Penyiapan Sample	36
<b>Tabel 4.1</b> Waktu Mesin Beroperasi pada <i>Trial Run</i> Alat Uji	39

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
<b>Lampiran 1</b> Hasil <i>Trial Run</i> pada Beban 400 Watt(1)	51
<b>Lampiran 2</b> Hasil <i>Trial Run</i> pada Beban 700 Watt	51
<b>Lampiran 3</b> Hasil <i>Trial Run</i> pada Beban 400 Watt (2)	51
<b>Lampiran 4</b> Hasil <i>Trial Run</i> pada Beban 200 Watt	52
<b>Lampiran 5</b> Hasil Pengujian Sample pada Beban 400 Watt	52
<b>Lampiran 6</b> Profil Energi pada Pengujian Sample pada Beban 400 Watt	52
<b>Lampiran 7</b> Hasil Analisa GCMS EFAMEGLI	53

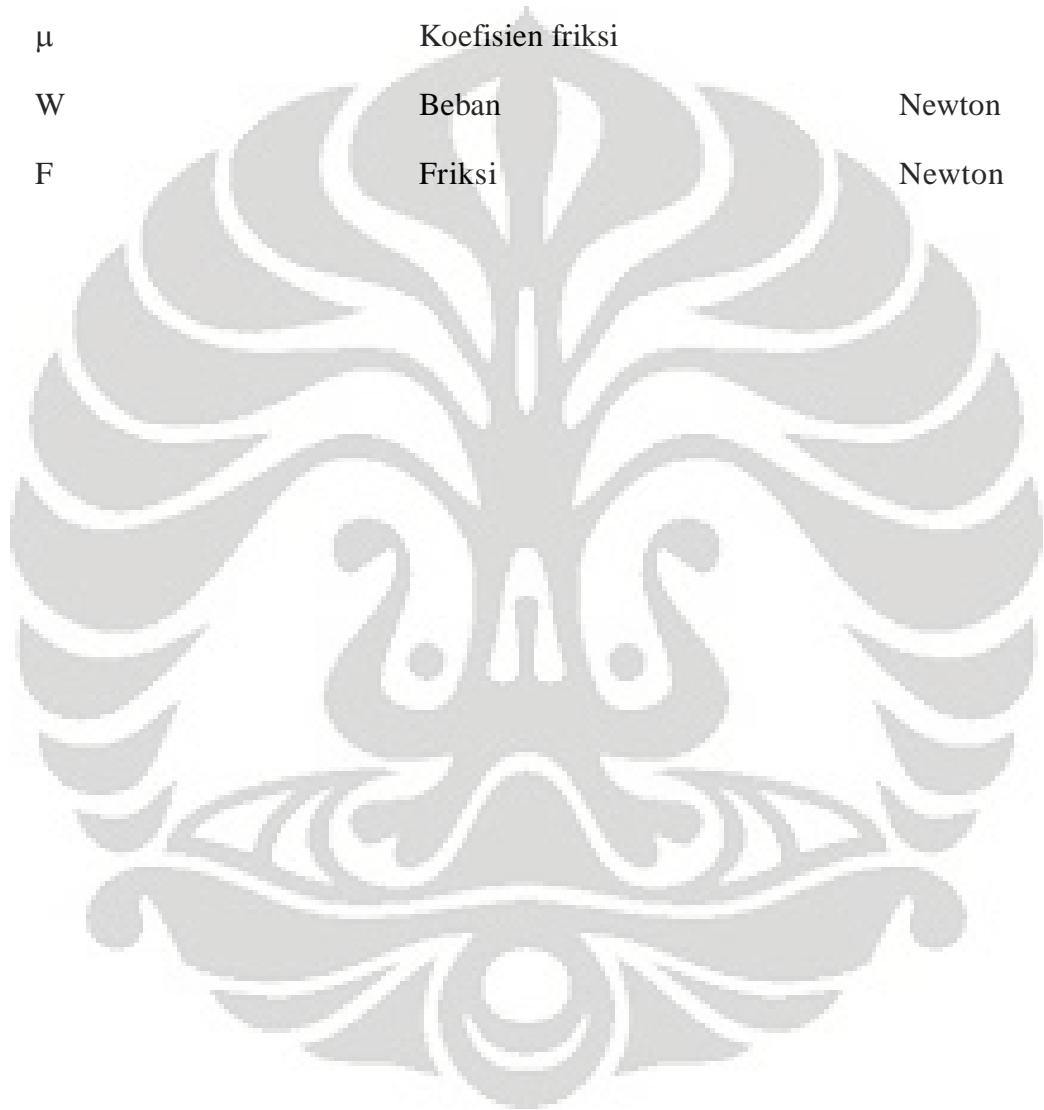
## DAFTAR SINGKATAN



API	American Petroleum Institute
BDC	Bottom Dead Center
cSt	centistokes
EFAMEGLI	Epoxied Fatty Acid Methyl Ester Glycerol
HC	Hydrocarbon
HVI	High Viscosity Index
GCMS	Gas Chromatography and Mass Spectroscopy
IC	Internal Combustion
KVI	Kinematic Viscosity Index
LVI	Low Viscosity Index
MPa	MegaPascal
MVI	Medium Viscosity Index
PAOs	Poly Alpha Olefins
POME	Palm Oil Methyl Ester
TDC	Top Dead Center
VHVI	Very High Viscosity Index

## DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Dimensi
$\mu$	Koefisien friksi	
W	Beban	Newton
F	Friksi	Newton





# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG

Berbagai upaya untuk melakukan penghematan energi sedang giat dilakukan mengingat cadangan bahan bakar fosil yang semakin menipis. Salah satu sektor pengonsumsi bahan bakar terbesar adalah mesin kendaraan dimana jumlah bahan bakar yang dikonsumsi dipengaruhi oleh kinerja sistem pelumasan. Pelumas berfungsi untuk mencegah atau mengurangi terjadinya friksi antara dua permukaan yang bergerak. Pengaruh performa pelumas terhadap kinerja mesin dapat dilihat dari berbagai faktor, antara lain energi yang dihasilkan, konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang. Apabila pelumas memiliki kemampuan yang baik maka friksi yang timbul akan rendah sehingga energi yang dihasilkan mesin dapat optimal karena energi yang hilang karena friksi berkurang dan umur mesin juga akan lebih tahan lama. Oleh karena itu, inovasi-inovasi perlu dikembangkan untuk memperbaiki kinerja pelumas, salah satunya adalah pemanfaatan minyak nabati menjadi pelumas mesin. Penelitian mengenai pemanfaatan minyak nabati telah banyak dilakukan, salah satunya menghasilkan *oleate ester*. *Oleate ester* memiliki *flash point* dan indeks viskositas yang lebih tinggi dibandingkan DB-32 *dicarboxylic acid ester* yang merupakan minyak pelumas komersial[1]. Dengan *flash point* yang lebih tinggi maka *oleate ester* lebih sukar terbakar dibandingkan DB-32. Indeks viskositas *oleate ester* yang lebih tinggi berarti bahwa viskositas *oleate ester* tidak akan banyak berubah karena perubahan suhu. Selain itu, *oleate ester* memiliki stabilitas termal dan oksidatif yang lebih tinggi dibandingkan DB-32[1]. Penelitian lain menyimpulkan bahwa POME (*palm oil methyl ester*) dapat dijadikan additif minyak pelumas[2].

Salah satu sumber minyak nabati yang dapat dikembangkan sebagai minyak pelumas adalah minyak sawit. Akan tetapi minyak sawit tidak dapat langsung dijadikan minyak dasar pelumas karena banyaknya kandungan ikatan karbon rangkap sehingga mudah teroksidasi dan terpolimerisasi membentuk resin

dan deposit pada suhu tinggi. Minyak sawit perlu dimodifikasi terlebih dahulu melalui proses transesterifikasi, epoksidasi dan pembukaan cincin untuk menurunkan jumlah ikatan karbon rangkap. Penelitian yang pernah dilakukan di Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia, EFAME (*Epoxied Fatty Acid Methyl Ester*) gliserol yang merupakan produk turunan minyak sawit memiliki indeks viskositas yang lebih tinggi dan ketahanan oksidasi yang lebih baik dibandingkan minyak lumas mineral HVI 160 S[3]. Hal ini menunjukkan bahwa EFAME gliserol memiliki kecenderungan yang lebih rendah untuk berubah nilai viskositasnya karena perbedaan suhu sehingga akan baik untuk melumasi mesin. Selain itu, hasil uji ketahanan aus dengan metode *four ball wear test* menunjukkan EFAME gliserol memiliki ketahanan aus yang lebih baik daripada minyak lumas HVI 160 S.

Faktor lain yang mendukung untuk menggunakan pelumas dari minyak nabati berkaitan dengan masalah emisi gas buang. Pada mesin 2T, pelumas mineral dicampur dengan bahan bakar untuk melumasi bagian dalam silinder mesin. Pelumas akan ikut terbakar dan menghasilkan polusi udara yang pekat. Berdasarkan penelitian, pelumas berbasis minyak nabati menghasilkan emisi CO lebih rendah dibandingkan emisi yang dihasilkan oleh pelumas mineral[2].

Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa EFAMEGLI memiliki properties pelumasan yang lebih baik dibandingkan pelumas mineral sehingga tahap yang perlu dilakukan selanjutnya adalah pengujian langsung EFAMEGLI sebagai pelumas mesin 2T. Pada penelitian ini, EFAMEGLI akan diuji kemampuannya sebagai pelumas mesin 2T. Parameter-parameter yang akan diukur adalah energi dan emisi gas buang yang dihasilkan mesin.

## **1.2 RUMUSAN PERMASALAHAN**

Secara garis besar, permasalahan yang melatarbelakangi penelitian ini adalah apakah EFAMEGLI dapat diaplikasikan sebagai minyak dasar pelumas mesin 2T.

### **1.3 TUJUAN PENELITIAN**

Penelitian ini bertujuan untuk menguji kemampuan EFAMEGLI sebagai pelumas mesin 2T dengan melihat kemampuan mesin untuk menghasilkan energi dan komposisi emisi gas buangnya.

### **1.4 BATASAN MASALAH**

Penelitian yang akan dilakukan memiliki batasan-batasan masalah sebagai berikut :

1. EFAMEGLI yang digunakan merupakan hasil penelitian yang sudah dilakukan di Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia. Penelitian dilakukan di Departemen Teknik Kimia dan Departemen Teknik Mesin.
2. Variabel-variabel yang akan dilihat dalam penelitian ini adalah energi yang dihasilkan oleh mesin dan emisi gas buang yang meliputi gas hidrokarbon, CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> dan NO<sub>x</sub>
3. Pengujian akan menggunakan mesin 2T generator listrik model TG-1200

### **1.5 SISTEMATIKA PENULISAN**

Sistematika penulisan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

#### **BAB I : PENDAHULUAN**

Tersusun atas latar belakang, rumusan permasalahan, tujuan penulisan, batasan masalah dan sistematika penulisan.

#### **BAB II : TINJAUAN PUSTAKA**

Berisi teori-teori mengenai pelumas, transesterifikasi, epoksidasi, pembukaan cincin, jenis-jenis mesin dan sistem pelumasan mesin.

#### **BAB III : METODE PENELITIAN**

Menampilkan gambaran umum tentang diagram alir penelitian dan proses pengambilan data.

#### BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Menyajikan hasil-hasil yang diperoleh selama penelitian dan analisa hasilnya.

#### BAB V : PENUTUP

Merupakan kesimpulan dari permasalahan yang telah dirumuskan dan saran untuk perbaikan penelitian yang selanjutnya.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 PELUMAS<sup>[4]</sup>**

Pelumas terdiri dari komponen-komponen hidrokarbon dengan berat molekul tinggi yang mempunyai atom karbon sekitar 30 sampai 40 buah dan umumnya mengandung satu sampai dua inti nafta dan aromatik dengan berantai panjang paraffin. Hidrokarbon ini mempunyai isomer-isomer yang jumlahnya bertambah dengan bertambahnya berat molekul, sehingga untuk menentukan struktur dari komponen-komponen pelumas akan kompleks dan sulit.

##### **2.1.1 Fungsi Pelumas**

Pelumas memiliki fungsi yang sangat penting dalam operasi suatu mesin karena melindungi bagian-bagian bergerak di dalam mesin dari friksi dan keausan. Jika pelumas tidak bekerja dengan baik, maka kontak antara dua permukaan logam yang terus-menerus pada kecepatan dan tekanan tinggi menyebabkan mesin menjadi cepat aus dan koefisien friksi makin besar. Sehingga kerja mesin menjadi tidak optimal karena banyaknya energi yang hilang oleh friksi dan kebocoran bahan bakar serta pelumas.

Selain untuk mencegah keausan dan friksi, pelumas juga mempunyai fungsi-fungsi lain sebagai berikut :

➤ **Pendinginan**

Di dalam mesin, pelumas merupakan agen transfer panas antara bagian-bagian yang terpanaskan karena pembakaran dan pada sistem disipasi panas. Pelumas juga mendisipasikan panas yang ditimbulkan oleh friksi dan kerja mekanik yang dilakukan.

➤ Anti korosi

Pelumas harus dapat melindungi bagian-bagian mesin dari korosi karena kelembaban atau degradasi pelumas yang menjadikannya bersifat asam.

➤ Pembersih

Pelumas mencegah adanya pengotor pada bagian mesin yang berasal dari produk degradasi pelumas atau kontaminasi hasil pembakaran. Deposit yang terbentuk dari hasil pembakaran bahan bakar dan oli dapat menyebabkan gangguan pada mesin, misalnya *piston ring* macet dan aliran pelumas terganggu.

### 2.1.2 Properties Kualitas Pelumas

Viskositas dan pelumasan batas merupakan faktor-faktor penting dalam sistem pelumasan. Jika kombinasi antara keduanya memuaskan maka pelumas akan menghasilkan fungsi pelumasan yang baik. Tetapi dalam prakteknya, faktor-faktor lain juga harus diperhitungkan untuk memastikan agar pelumas secara kontinyu melakukan fungsi pelumasan yang baik dalam rentang waktu yang telah ditentukan. Beberapa faktor yang dimaksud diatas adalah sebagai berikut :

➤ Viskositas yang sesuai

Viskositas merupakan suatu ukuran sifat alir fluida dibawah keadaan gravitasi, atau ukuran dari besar tahanan yang diberikan oleh pelumas untuk mengalir, atau ukuran kekentalan pelumas. Pelumas yang memiliki viskositas terlalu rendah akan menyebabkan terjadinya kontak antar permukaan, keausan dan meningkatnya kebocoran pelumas. Sedangkan apabila viskositasnya terlalu tinggi, energi yang terbuang akan semakin banyak dan dapat menyebabkan kesulitan pada penghidupan mesin.

➤ Titik tuang (*pour point*) yang rendah

Titik tuang menunjukkan suhu terendah dimana pelumas masih dapat mengalir. Pelumas yang baik adalah pelumas yang memiliki titik tuang rendah. Bila titik tuangnya rendah maka pelumas dapat berfungsi dengan baik pada suhu rendah dan pada saat penghidupan mesin.

➤ Indeks viskositas yang tinggi

Indeks viskositas merupakan ukuran kecenderungan perubahan viskositas pelumas terhadap perubahan suhu. Makin tinggi nilai indeks viskositasnya maka semakin kecil perubahan nilai viskositasnya.

➤ Volatilitas yang rendah

Volatilitas adalah sifat kemudahan menguap. Sifat volatilitas pelumas harus rendah agar penguapan pelumas tidak terjadi. Bila terjadi penguapan maka fungsi pelumas tidak akan optimal karena jumlahnya berkurang dan uap yang terbentuk akan mengganggu mesin.

➤ Stabil terhadap oksidasi dan gangguan kimiawi

Pelumas dapat bereaksi terhadap oksigen, air atau senyawa lain yang dapat menyebabkan penurunan kualitas pelumas. Dalam hal ini, suhu mempunyai pengaruh yang besar karena peningkatan suhu dapat meningkatkan laju reaksi. Dengan suhu tinggi dan kehadiran oksigen, pelumas dapat mengalami oksidasi membentuk deposit yang dapat mengganggu kerja mesin, misalnya aliran pelumas terganggu dan terjadinya titik-titik panas pada bagian mesin.

➤ Tidak membentuk busa

Jika pelumas menjadi busa dapat menyebabkan berkurangnya pelumas sehingga fungsi pelumasan menjadi tidak sempurna.

➤ Tidak mengganggu komponen sistem emisi, pelapis dan *seals*

Pelumas yang tidak stabil dapat menurunkan kerja konverter katalitik dan mendegradasi pelapis cat pada beberapa peralatan.

➤ Tidak membentuk deposit

Jika pelumas terdekomposisi pada permukaan logam panas, akan terbentuk produk oksidasi yang selanjutnya terpolimerisasi menghasilkan lapisan kecoklatan atau kuning yang disebut *varnish* atau *lacquer*. Karbonasi *varnish* atau *lacquer*



akan membentuk padatan karbon yang dapat mengganggu pergerakan bagian-bagian mesin.

➤ **Kompatibilitas**

Berkaitan dengan efek yang timbul karena adanya interaksi antara pelumas dengan bahan lain. Misalnya, pelumas dapat menyebabkan segel karet menjadi menyusut, melunak atau mengeras.

➤ **Sifat korosifitas**

Korosi merupakan salah satu tipe dari inkompatibilitas dimana pelumas atau kandungannya menyebabkan karat pada logam. Pelumas yang awalnya tidak korosif dapat berubah menjadi korosif dalam periode penggunaannya.

## **2.2 PRINSIP DASAR PELUMASAN**

Ketika satu permukaan bergerak sepanjang permukaan yang lain maka akan selalu timbul friksi yang menghambat pergerakan antara dua permukaan. Pergeseran (*sliding*) yang halus terbentuk jika friksinya bernilai rendah dan tetap. Apabila friksi terlalu besar dapat menyebabkan permukaan sulit bergerak, terlalu panas dan hancurnya permukaan.

Pelumasan merupakan penggunaan bahan untuk meningkatkan kehalusan pergerakan suatu permukaan terhadap permukaan yang lain, dan bahan yang dimaksud disini adalah pelumas. Pelumas biasanya berwujud cair atau semi cair, padat, gas dan kombinasi antara ketiganya.

Pada umumnya, pergerakan yang halus dapat dihasilkan dengan mengurangi friksi. Tapi ada suatu kondisi dimana nilai friksi dipertahankan tetap daripada memilih untuk mencapai nilai friksi yang terendah. Hal ini terjadi misalnya pada proses penggilingan dan penggulangan logam. Selain untuk mengurangi atau mengontrol friksi, pelumas juga diharapkan mampu mengurangi keausan, panas dan korosi.



### 2.2.1 Friksi

Hukum Amonton dapat menjelaskan fenomena terjadinya friksi kering antara dua permukaan yang saling bergerak. Hukum I Amonton menyatakan bahwa friksi antara dua benda padat bersifat independen dari area kontak. Misalnya sebuah batubata bergeser diatas suatu permukaan datar, maka besaran friksinya akan bernilai sama untuk setiap permukaan baik atas, bawah maupun samping.

Hukum II Amonton menyatakan bahwa nilai friksi sebanding terhadap beban yang dihasilkan dari satu permukaan terhadap permukaan yang lain. Secara matematis, Hukum II Amonton dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$F = \text{konstanta} \times W \dots \dots \dots (2.1)$$

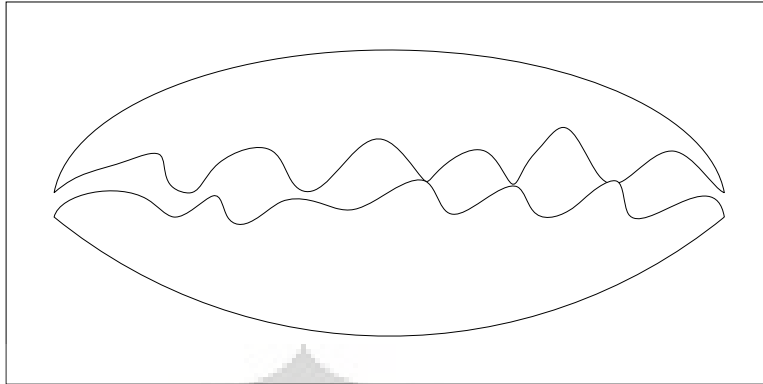
Keterangan :

F : Friksi (Newton)

W : Beban (Newton)

Konstanta dalam persamaan diatas merupakan koefisien friksi ( $\mu$ ) yang nilainya bergantung pada bahan yang terlibat di dalam pergeseran. Biasanya nilai  $\mu$  berkisar antara 0,003 hingga 3.

Nilai koefisien friksi tidaklah konstan tetapi bervariasi karena adanya perubahan beban dan kecepatan pergeseran. Friksi statis yang merupakan gaya untuk memulai menggeser suatu benda bernilai lebih besar dari friksi dinamis, yaitu gaya yang diperlukan untuk menjaga pergerakan benda pada kecepatan konstan setelah benda mulai bergerak. Friksi antara dua permukaan kering diakibatkan oleh dua sumber dasar utama, yaitu adhesi dan deformasi. Adhesi merupakan fenomena menempelnya dua buah permukaan karena asperities mengalami tekanan yang sangat besar. Dua permukaan padat akan saling kontak pada asperitiesnya seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1.



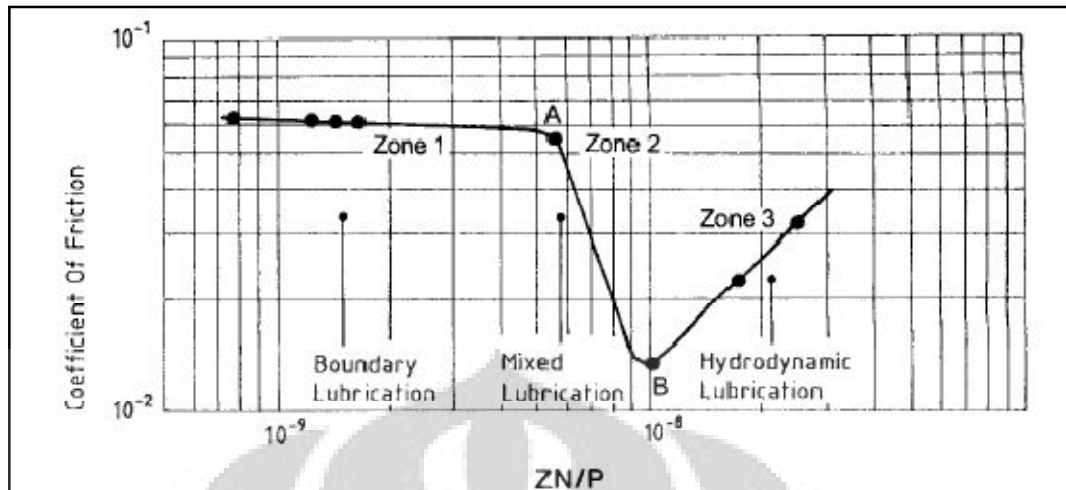
Gambar 2.1. Kontak pada asperities dua permukaan padat.

### 2.2.2 Pelumasan Batas (*Boundary Lubrication*)

Pada awalnya kondisi asperities akan diselubungi oleh lapisan oksida, seperti besi oksida atau besi atau baja, alumunium oksida (alumina) diatas alumunium dan lain sebagainya. Ketika asperities saling bergesekan maka kecenderungan untuk melekat satu sama lain relatif kecil. Tetapi, bila lapisan oksida berkurang karena seringnya gesekan maka permukaan logam yang tidak terlindungi memiliki kemungkinan yang besar untuk melekat sehingga timbul friksi dan keausan.

Pelumasan batas akan sangat dibutuhkan ketika dua permukaan tidak secara sempurna dipisahkan oleh lapisan pelumas dimana akan terjadi kontak antar asperities. Hal ini dapat terjadi jika viskositas pelumas terlalu rendah, kecepatan poros terlalu rendah atau beban poros terlalu tinggi. Ketika lapisan pelumas menjadi terlalu tipis untuk memberikan fungsi pelumasan secara sempurna maka terjadi proses kontak antar asperities permukaan, dalam hal ini properties pelumas selain viskositasnya akan menjadi penting.

Pada Zona 1 dalam kurva Stribeck yang ditunjukkan pada Gambar 2.2., sangat tipisnya lapisan pelumas menyebabkan tidak adanya kontribusi hidrodinamis dan hanya pelumasan batas yang bekerja efektif.



Gambar 2.2. Kurva Stribeck.

Pada titik B koefisien friksi bernilai paling rendah dan pelumas mempunyai ketebalan yang cukup untuk mencegah asperities saling kontak. Pada zona 3 atau zona pelumasan hidrodinamis, ketebalan pelumas akan meningkat karena meningkatnya viskositas, meningkatnya kecepatan atau menurunnya beban. Koefisien friksi pada zona ini akan meningkat karena ketebalan lapisan pelumas yang meningkat. Pada keadaan perubahan dari B ke A, ketebalan lapisan pelumas menurun sehingga asperities akan bergesekan satu sama lain. Jumlah gesekan dan friksi meningkat seiring menurunnya ketebalan lapisan pelumas.

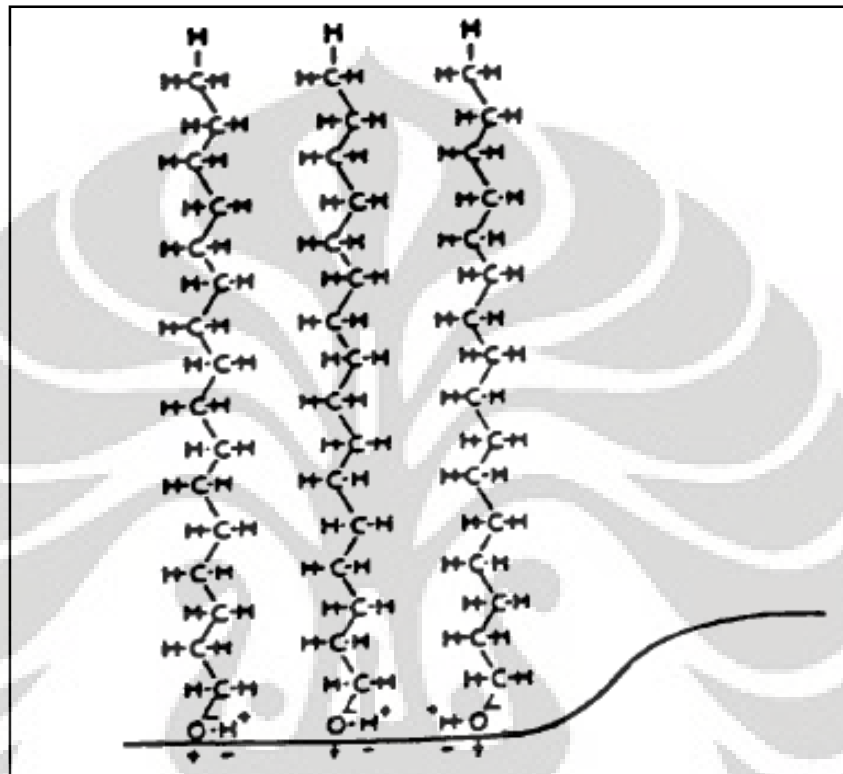
Di titik A, ketebalan lapisan pelumas bernilai paling rendah sehingga beban sepenuhnya ditanggung oleh asperities. Pada zona 3, tidak ada kontak antar permukaan sehingga tidak terjadi keausan. Ketika pelumas menjadi lebih tebal saat bergerak melalui zona 2 dan 1, terjadi peningkatan kontak antar permukaan sehingga kecenderungan untuk terjadi keausan akan meningkat.

Fungsi dari pelumasan batas adalah untuk mengurangi terjadinya friksi dan keausan, dan hal ini dapat dilakukan melalui beberapa cara seperti adsorpsi, penyerapan kimia dan reaksi kimia.

### 2.2.2.1 Adsorpsi

Semua permukaan padat bertendensi untuk menarik sebuah lapisan tipis suatu senyawa dari lingkungannya. Lapisan ini memiliki ketebalan hanya satu

atau sedikit molekul dan dikatakan teradsorpsi ke permukaan. Proses adsorpsi ini dapat dijelaskan dengan Gambar 2.3.,dimana molekul dari suatu alkohol berantai panjang diadsorpsi oleh permukaan logam. Kekuatan adsorpsi tergantung dari struktur elektronik, dan molekul polar bertendensi untuk mengadsorpsi secara tegak lurus terhadap permukaan.



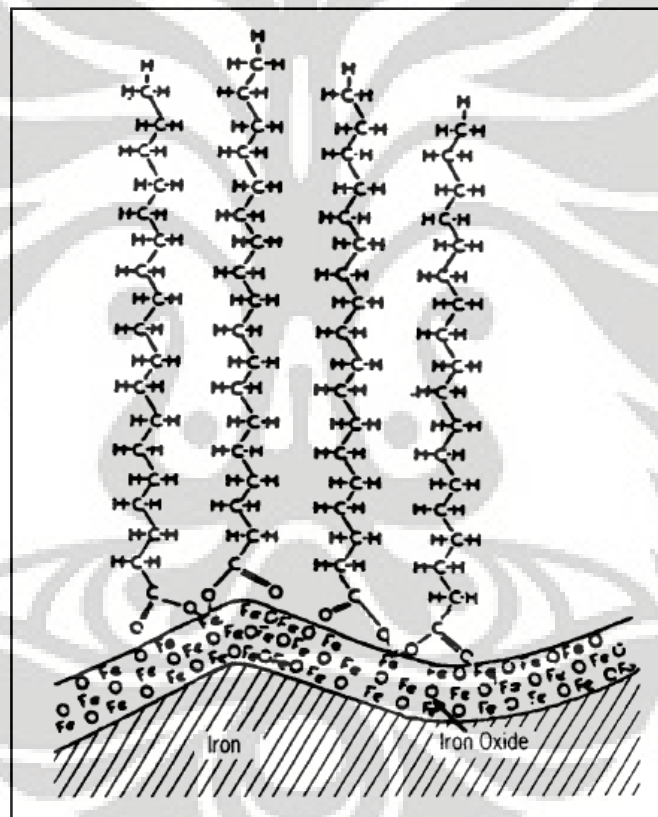
Gambar 2.3. Adsorpsi alkohol rantai panjang.

Adsorpsi merupakan proses yang dapat balik (*reversible*), sehingga senyawa yang sudah teradsorpsi dapat terdesorpsi karena pemanasan hingga suhu kritisnya atau terjadinya penggantian dengan senyawa yang teradsorpsi lebih kuat. Senyawa didalam pelumas yang lebih kuat teradsorpsi memiliki kecenderungan yang lebih tinggi untuk diadsorpsi, senyawa ini akan memberikan pelumasan batas yang lebih efektif. Hasil dari proses adsorpsi adalah berkurangnya *modulus* dan *yield stress* suatu logam karena keberadaan lapisan pelindung, hal ini sering disebut sebagai *Rehbinder Effect*, yang mengakibatkan adanya stress yang lebih rendah ketika asperities bertumbukan.

### 2.2.2.2 Penyerapan Kimia (*Chemisorption*)

Pada proses adsorpsi suatu senyawa pada permukaan logam, akan terjadi pertukaran ikatan elektron suatu senyawa tertentu dengan logam atau permukaan oksida untuk membentuk senyawa kimia yang baru. Senyawa ini dikatakan terchemisorpsi yang dapat ditunjukkan oleh Gambar 2.4.

Material chemisorpsi memiliki ikatan yang lebih kuat dengan permukaan logam daripada senyawa hasil adsorpsi dan proses chemisorpsi tidak mudah untuk *reversible*. Molekul berantai panjang yang terchemisorpsi secara tegak lurus terhadap permukaan akan memberikan pelumasan batas yang lebih baik.



Gambar 2.4. Proses chemisorpsi asam stearat pada besi.

### 2.2.2.3 Reaksi Kimia

Lapisan hasil adsorpsi dan *chemisorpsi* sangat efektif untuk mengurangi friksi dan keausan ringan pada gesekan yang ringan atau sedang. Tetapi secara mekanik senyawa ini dapat hilang dibawah kondisi gesekan yang kuat sehingga tidak efektif untuk mencegah keausan yang berat. Secara alami, terdapat lapisan

oksida yang dapat mengurangi keausan yang berat tapi adanya gesekan yang terus-menerus dapat menghilangkan lapisan tersebut. Selama proses reoksidasi berlangsung, tidak ada lapisan yang melindungi dari keausan.

Untuk mengatasi masalah diatas, senyawa-senyawa kimia yang lebih reaktif dapat ditambahkan kedalam pelumas supaya bereaksi dengan permukaan poros dan menghasilkan lapisan pelindung yang lebih efektif, misalnya klorida, sulfida, fosfit dan fosfat. Masalahnya adalah senyawa-senyawa yang sangat reaktif seperti asam hidroklorik dan asam fosforik akan terus bereaksi dan akhirnya menyebabkan logam terkorosi. Hal ini dapat diatasi dengan penggunaan senyawa organik yang mengandung sulfur, fosfor atau klorin yang dapat mengadsorpsi atau mengchemisorpsi diatas permukaan logam teroksidasi tetapi akan bereaksi cepat untuk membentuk permukaan logam baru setelah lapisan oksida logamnya hilang. Misalnya, *tri-xylyl phosphate* akan mengchemisorpsi pada baja poros teroksidasi, tapi pada kondisi gesekan yang berat akan bereaksi dengan permukaan baja yang baru untuk menghasilkan lapisan besi fosfat atau besi fosfit.

Dengan cara ini, reaksi antara senyawa kimia dengan permukaan poros dapat dibatasi minimum sampai batas yang dibutuhkan untuk pelumasan sehingga korosi dapat dikendalikan. Walaupun begitu, beberapa senyawa klorin yang lebih kuat yang mengandung additif tekanan berlebih (*extreme pressure*) akan menyerang beberapa jenis logam, senyawa jenis ini hanya boleh digunakan pada kondisi dimana terjadi gesekan berat seperti pemotongan logam.

### **2.2.3 Keausan (*Wear*)**

Keausan terdapat dalam berbagai bentuk yang dihasilkan dari berbagai jenis penyebab yang berbeda dan masing-masing keausan mengakibatkan efek yang berbeda pula. Jenis keausan yang paling umum terjadi adalah adesif dan abrasif.

Tingkat kekuatan keausan adesif tergantung pada besarnya gaya adesif yang nantinya mempengaruhi tingkat kerusakan yang ditimbulkan. Tingkat kerusakan ini mulai dari perpindahan sedikit molekul, perpindahan seluruh asperities, patahnya asperities, pecahnya permukaan karena tekanan yang berlebih



hingga melelehnya permukaan. Pelumas yang mampu mengurangi gaya adesif antara dua permukaan akan dapat mengurangi adanya keausan adesif.

Keausan abrasif atau abrasi disebabkan oleh permukaan kasar suatu permukaan memotong permukaan dari suatu bahan yang lebih halus. Pelumas dalam hal ini harus dapat mencegah partikel abrasif memasuki zona kontak atau bahkan menghilangkan partikel abrasif dari sistem.

#### 2.2.4 Parameter Penilaian Kinerja Pelumas

Kemampuan pelumas terhadap kinerja suatu mesin dapat dilihat dari berbagai aspek, antara lain energi yang dihasilkan karena pembakaran bahan bakar, pembentukan deposit, gas buang, keausan dan konsumsi bahan bakar.

##### 1) Energi

Energi aktual yang dihasilkan oleh suatu mesin sangat dipengaruhi oleh baik-tidaknya kerja pelumas. Pelumas yang baik dapat mengurangi friksi diantara bagian-bagian mesin yang bergerak sehingga energi aktual yang dapat dihasilkan lebih besar karena energi yang hilang kecil.

##### 2) Deposit

Deposit dapat terbentuk dari degradasi bahan bakar atau pelumas. Deposit berupa *sludge* dan *varnish* merupakan turunan dari bahan bakar dan timbul pada mesin bensin sedangkan *lacquer* dihasilkan dari dekomposisi pelumas.

##### ➤ *Sludge*

*Sludge* adalah deposit tersusun atas oli dan produk pembakaran yang tidak membasahi permukaan. Penumpukan *sludge* dapat menyebabkan terhambatnya aliran pelumas.

Pembentukan *sludge* terjadi pada kondisi operasi bersuhu rendah dimana bahan bakar, garam inorganik dan polimer senyawa organik bereaksi dengan komponen pelumas yang membentuk padatan. Deposit biasanya ditemukan di area stagnan seperti permukaan *valve* dan *timing gear cover*. *Sludge* dapat

dikurangi dengan merubah desain mesin untuk mencegah fraksi bahan bakar cair yang teroksidasi masuk ke *crankcase* atau dengan menggunakan additif anti *ash* yang mendispersikan *sludge*.

*Sludge* juga dapat berbentuk emulsi yang merupakan emulsi antara air dan pelumas. Deposit seperti ini biasanya terbentuk pada permukaan mesin yang relatif dingin tapi akan hilang bila suhu operasi semakin tinggi atau adanya ventilasi *crankcase* yang baik.

➤ *Varnish*

*Varnish* muncul dalam bentuk lapisan resin yang menyebabkan macetnya *piston ring* dan *valve filter*. Deposit jenis ini terbentuk karena reaksi antara bahan bakar hidrokarbon, oksigen dan oksida nitrogen dengan kehadiran air. Pembentukan *varnish* dapat dikurangi dengan memperkecil rasio kompresi dan penggunaan *dispersant*.

➤ *Lacquer*

*Lacquer* merupakan deposit di daerah *piston ring* suatu mesin diesel yang menyebabkan macetnya *piston ring*. Degradasi pelumas menyebabkan pembentukan *lacquer*.

### 3) Penghematan Bahan Bakar

Pada mesin yang menggunakan bahan bakar bensin, kehilangan energi akibat friksi sekitar 7,5% dari total distribusi energi. Apabila friksi dapat dikurangi dengan sistem pelumasan yang lebih baik, maka penghematan bahan bakar dapat dilakukan.

Tiga faktor utama yang mempengaruhi besarnya konsumsi pelumas adalah kecepatan mesin, keausan mesin dan *engine seals*.

➤ Kecepatan mesin

Kecepatan mesin yang tinggi menyebabkan suhu tinggi dan rendahnya viskositas pelumas sehingga laju alir pelumas ke ruang pembakaran lebih cepat.



➤ Keausan Mesin

Ketika bagian-bagian mesin menjadi aus maka konsumsi pelumas akan meningkat. Keausan ini dapat terjadi di silinder, *intake valve* dan *piston rings* yang menyebabkan aliran pelumas ke ruang pembakaran semakin besar sehingga lebih banyak pelumas yang terbakar.

➤ Rusaknya *Engine Sealings*

*Engine sealings* yang tidak baik menyebabkan terjadinya kebocoran pelumas ke lingkungan melalui filter yang kendor atau penutup yang tidak sempurna.

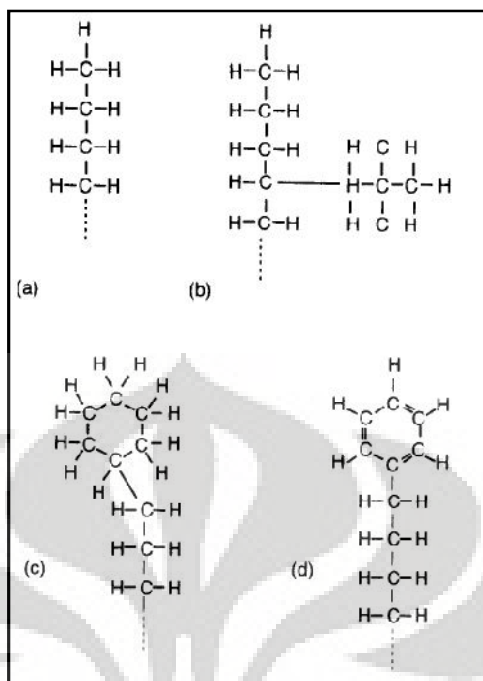
4) Emisi

Selama pembakaran, elemen hidrokarbon (HC) akan bereaksi dengan oksigen membentuk H<sub>2</sub>O dan CO<sub>2</sub>. Jika pembakaran tidak sempurna, sebagian bahan bakar tidak terbakar dan sebagian pelumas terbakar sehingga dihasilkan CO. Bahan bakar yang tidak ikut terbakar dan gas CO keluar dari mesin melalui knalpot sehingga mencemari udara. Selain itu, juga terbentuk NO<sub>x</sub> karena suhu tinggi pada mesin menyebabkan nitrogen dari udara bereaksi dengan oksigen.

## 2.3 KOMPONEN PELUMAS

Minyak mineral yang digunakan dalam pelumasan merupakan fraksi minyak bumi yang didapatkan dari distilasi yang mempunyai viskositas yang sesuai untuk pelumasan. Pada akhir tahun 60-an, pengolahan minyak mineral menjadi semakin canggih seperti *sweetening* untuk mengurangi kandungan sulfur, distilasi vakum, hidrogenasi, ekstraksi, isomerisasi, penghilangan lilin dan lain sebagainya.

Hidrokarbon merupakan senyawa penyusun utama dari minyak mineral. Senyawa ini memiliki tiga tipe dasar yaitu paraffin, nafta dan aromatik. Paraffin yang berantai karbon lurus atau bercabang merupakan kandungan terbesar dari minyak pelumas mineral. Nafta berantai karbon siklik.



Gambar 2.5. Tipe utama hidrokarbon.

Selain tipe-tipe hidrokarbon seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5, minyak mineral juga mengandung sejumlah kecil senyawa-senyawa yang tersusun atas unsur oksigen, sulfur, fosfor, nitrogen dan logam. Tabel 2.1. menunjukkan komposisi minyak mineral pada umumnya.

Tabel 2.1. Komposisi Minyak Mineral<sup>[5]</sup>

Konstituen	Naftanik (Group I) (%)	Paraffinik (Group II) (%)	<i>Highly Refined</i> <i>Paraffinic</i> (Group II) (%)
Atom karbon dalam rantai paraffinik	50	63	95
Atom karbon dalam cincin nafta	40	33	3
Atom karbon dalam cincin aromatik	10	2	0.1
Sulfur (dalam berat)	1	0.5	0.1
<i>Asphaltenes</i>	2	1	

Sumber minyak bumi dan cara pengilangan yang berbeda akan menghasilkan proporsi komponen yang berbeda pula, tujuan dari proses pengolahan modern saat ini adalah untuk mendapatkan minyak dasar pelumas dengan proporsi paraffin bercabang yang tinggi. Proses perengkahan akan mengurangi berat molekul hidrokarbon yang ada dan membuka cincin nafta. Proses perengkahan akan merubah proporsi paraffin rantai bercabang. *Hydrotreating* ringan akan mengurangi kandungan sulfur, fosfor, senyawa nitrogen dan oksigen sedangkan proses *hydrotreating* berat akan menghilangkan ikatan ganda dan group aromatik.

Minyak pelumas pada umumnya diklasifikasikan berdasarkan perubahan nilai viskositas kinematik karena pengaruh suhu yang biasanya dinyatakan dalam indek viskositas kinematik (KVI). Awalnya, KVI mempunyai jangkauan nilai antara 0-100, nilai KVI yang tinggi berarti minyak pelumas mempunyai profil perubahan nilai viskositas kinematik yang kecil. Tapi nilai KVI pada era ini dapat berada di luar jangkauan nilai tersebut. Berdasarkan viskositasnya, minyak pelumas digolongkan sebagai rendah, medium dan tinggi. Tabel 2.2. menunjukkan klasifikasi minyak pelumas berdasarkan indeks viskositas.

Tabel 2.2. Klasifikasi Minyak Pelumas Berdasarkan Indeks Viskositas<sup>[6]</sup>

Group	Indeks viskositas kinematik
Indeks viskositas rendah (LVI)	< 35
Indeks viskositas sedang (MVI)	35 – 80
Indeks viskositas tinggi (LVI)	80 – 110
Indeks viskositas sangat tinggi (VHVI)	>110

Minyak pelumas yang mempunyai indeks viskositas diatas 80 atau 90 terutama tersusun atas paraffinik dan alisiklik, mempunyai umur pemakaian yang panjang, anti *sludge* dan *varnish*. Sedangkan minyak pelumas dengan indeks

viskositas yang lebih rendah mempunyai titik tuang yang lebih rendah dan berguna pada aplikasi pada musim dingin.

Secara umum pelumas tersusun atas minyak dasar (*base oil*) dan additif. Minyak dasar merupakan komponen terbesar dari suatu pelumas yang berupa campuran dua atau lebih komponen. Minyak dasar dapat berasal dari turunan minyak bumi, sintetis dan minyak nabati sedangkan additif berfungsi untuk meningkatkan properties minyak pelumas.

### 2.3.1 Minyak Dasar

Minyak dasar dapat diproduksi dari minyak bumi dengan berbagai proses yang berbeda sehingga dihasilkan kualitas yang berbeda pula. Minyak pelumas hasil pengilangan minyak bumi (minyak mineral) dapat diklasifikasikan menjadi paraffinik, naftanik atau intermediate. Minyak mineral mempunyai rentang dari viskositas rendah dengan berat molekul 250 hingga sangat viskos dengan berat molekul hingga 1000.

Paraffinik memiliki kestabilan oksidasi yang lebih baik, indeks viskositas lebih tinggi dan volatilitas yang lebih rendah dibandingkan naftanik. Sedangkan naftanik memiliki densitas yang lebih tinggi dan fungsi pelarutan yang lebih baik dibandingkan paraffinik. Selain itu, naftanik cenderung membentuk deposit karbon yang ringan bila terjadi dekomposisi karena suhu tinggi.

Untuk memberikan fungsi pelumasan yang baik dalam periode yang lama dimana pelumas mengalami tekanan yang berat dikembangkan fluida-fluida kimia lain sebagai minyak dasar, yaitu minyak dasar sintetis. Minyak dasar sintetis memiliki kombinasi properties, antara lain titik tuang rendah, volatilitas rendah, stabil pada suhu ekstrim, tahan api, dan inert. Beberapa minyak dasar sintetis digunakan karena menghasilkan deposit yang rendah. Jenis-jenis minyak sintetis antara lain hidrokarbon sintesis, olefin oligomers, *alkylated aromatics*, *ester organic*, *polyglycol*, silikon, *phosphate esters* dan *halogenated hydrocarbon*.

API (*American Petroleum Institute*) menggolongkan minyak dasar kedalam 5 golongan berdasarkan parameter fisika dan kimianya sebagaimana ditunjukkan oleh Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Klasifikasi Minyak Dasar<sup>[4]</sup>

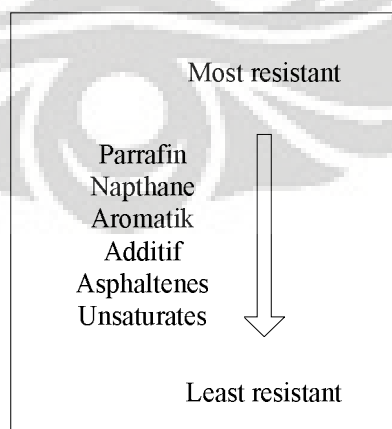
Group	Saturate wt %	Sulphur wt %	Indeks viskositas
I	< 90	> 0.03	> 80 to < 120
II	≥ 90	≤ 0.03	≥ 80 to ≤ 120
III	≥ 90	≤ 0.03	≥ 120
IV	Semua poli alfa olefin (PAOs)		
V	Semua minyak dasar yang tidak termasuk golongan I-IV		

### 2.3.2 Additif

Additif pelumas adalah bahan yang ditambahkan dalam jumlah kecil untuk meningkatkan properties pelumas. Berbagai macam additif telah dikembangkan, antara lain :

➤ Inhibitor oksidasi

Oksidasi minyak mineral merupakan bentuk degradasi yang paling sering ditemui. Oksidasi akan menghasilkan aldehyd dan senyawa asam yang dapat menyebabkan korosi dan meningkatnya viskositas pelumas, selain itu oksidasi juga menghasilkan produk oksidasi yang tidak larut atau deposit. Kecepatan oksidasi setiap senyawa kimia berbeda-beda tapi pada umumnya memiliki kecenderungan seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Ketahanan terhadap oksidasi.

Proses penghambatan oksidasi terjadi melalui tiga tahap, yaitu pembentukan radikal bebas karena pengaruh panas dan katalis logam, tahap propagasi dimana radikal bebas bereaksi dengan oksigen membentuk hidrogen peroksida dan radikal bebas lainnya dalam reaksi berantai dan terminasi ketika radikal bebas bereaksi dengan inhibitor oksidasi. Hidrogen peroksida akan terdekomposisi menjadi alkohol, aldehyd, keton dan asam organik yang mungkin terpolimerisasi menjadi polimer larut yang viskos, *sludge* tidak larut dan *varnish*.

Additif anti oksidan ditambahkan ke dalam minyak pelumas untuk menghambat proses oksidasi. Kecepatan oksidasi minyak pelumas yang ditambahkan dengan anti oksidan akan lebih rendah dibanding dengan yang tanpa oksidan. Inhibitor berfungsi untuk menginterupsi reaksi berantai hidrogen peroksida. Inhibitor ditambahkan dalam jumlah 0,5 -1 % ke dalam minyak paraffinik untuk pelumas turbin, motor elektrik dan peralatan hidraulik. Tabel 2.4. menunjukkan beberapa senyawa anti oksidan.

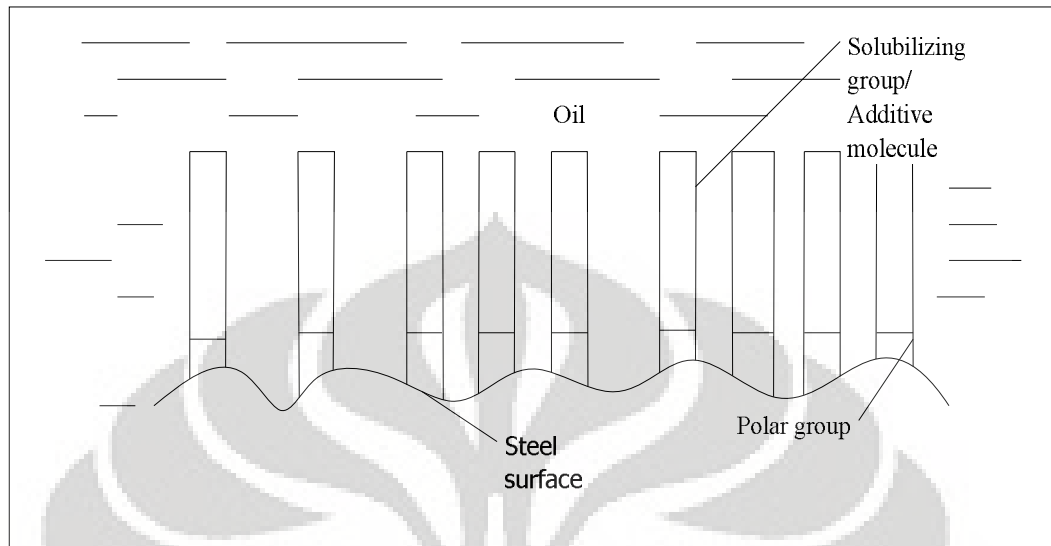
Tabel 2.4. Additif Anti Oksidan<sup>[5]</sup>

Tipe	Contoh
<i>Metal organophosphates</i>	<i>Zinc diethyl dithiophosphates</i>
<i>Amines</i>	<i>Phenothiazine</i> <i>N-phenyl-naphthylamine</i> <i>Diphenylamine</i>
<i>Hindered phenols</i>	<i>2,6-di-tert-butyl-4-methyl phenol</i>
<i>Organic phosphites</i>	<i>Tri-n-butyl phosphites</i>
<i>Organometallic</i>	<i>Zinc-di-n-butyl dithiocarbamate</i>

➤ Inhibitor karat

Minyak mineral yang bersih biasanya tidak korosif dan akan memberikan perlindungan terhadap korosi karena kelembaban udara. Produk oksidasi dan beberapa additif dapat menyerang komponen logam, hal ini dipercepat apabila ada air dan suhu tinggi. Untuk mencegah terjadinya korosi pada komponen mesin, minyak pelumas ditambahkan dengan inhibitor karat. Inhibitor karat merupakan

additif yang diadsorb pada permukaan besi atau baja untuk mencegah karat karena kelembaban seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Penggunaan inhibitor karat untuk melindungi permukaan logam dari kelembaban.

Pada kondisi dimana jumlah air yang ada kecil dibandingkan dengan jumlah pelumas, amina rantai panjang, asam alkil susinik dan senyawa asam organik polar lain memberikan perlindungan yang baik. Pada kondisi yang lebih berat, sodium sulfonat, organik fosfat dan alkohol polihidrik dapat digunakan. Additif yang sering digunakan sebagai inhibitor karat terdapat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5. Inhibitor Karat<sup>[5]</sup>

Inhibitor karat	<i>Metal diorganodithiophosphates</i>
	<i>Metal dithiocarbamates</i>
	<i>Sulphurized terpenes</i>
	<i>Phosphosulphurized terpenes</i>

➤ Penurun titik tuang (*pour point depressants*)

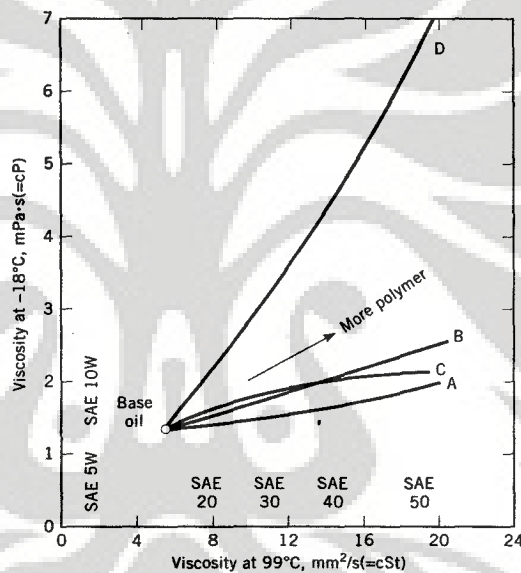
Additif yang berfungsi untuk memperendah suhu dimana minyak mineral menjadi kental atau padat. Titik tuang dari minyak pelumas paraffinik dengan viskositas rendah dapat diturunkan hingga 30-40°C dengan menambahkan 1%



*polymethacrylates*. *Pour point depressant* menjadi kurang efektif bila dicampurkan dengan minyak pelumas nonparaffinik yang berviskositas tinggi.

➤ *Viscosity Modifier*

Minyak pelumas dengan indeks viskositas tinggi dapat dibuat dengan menambahkan senyawa polimer linier dalam prosentase yang kecil. *Viscosity modifier* dapat meningkatkan indeks viskositas karena lebih larut dalam minyak dasar pada suhu tinggi daripada suhu rendah. Hal ini dapat menaikkan indeks viskositas pelumas hingga 50 unit. Efek sejumlah additif dalam meningkatkan viskositas minyak pelumas dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Efek penambahan *viscosity modifier*.

Untuk pelumas multigrade dengan indeks viskositas tinggi, konsentrasi additif dalam minyak dasar sekitar 0,5-2%. Tabel 2.6 adalah daftar sejumlah additif yang sering digunakan sebagai *viscosity modifier*.

Tabel 2.6. *Viscosity Modifier*<sup>[5]</sup>

<i>Viscosity modifier</i>	<i>Polyisobutylenes</i>
	<i>Polymethacrylates</i>
	<i>Polyalkylstyrenes</i>



➤ *Detergents dan Detergent-Inhibitors*

Additif *detergent* mempunyai fungsi untuk meminimalisasi jumlah deposit di bagian-bagian mesin yang panas seperti piston dan *piston ring*. *Detergent-inhibitor* adalah additif yang berfungsi sebagai *detergent* tetapi juga mengandung komponen yang dapat menghambat oksidasi dan korosi poros. *Additif detergent* misalnya *sulfonates*. Secara umum digunakan pada konsentrasi 2-20%, *detergent* bekerja dengan membersihkan permukaan dan menyerap partikel-partikel tidak larut agar tersuspensi dalam minyak pelumas untuk meminimalisasi deposit pada *valve* dan dinding silinder mesin. Suatu molekul *dispersant* mengandung gugus polar berbasis nitrogen atau oksigen yang terikat pada rantai hidrokarbon alifatik yang memiliki 70-200 atom karbon. *Detergent* dapat menyebabkan terjadinya pembusaan(*foaming*) dan masalah emulsi. *Detergent* yang sering digunakan sebagai additif dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7. Additif *Detergent*<sup>[5]</sup>

<i>Detergent</i>	<i>Alkylbenzenesulfonic acid</i>
	<i>Alkyphenols</i>
	<i>Carboxylic acid</i>
	<i>Alkylphosphoric acid</i>
	<i>Calcium sulfonates</i>
	<i>Calcium phenates</i>

➤ *Friction Modifiers*

*Friction modifiers* digunakan untuk memperendah nilai koefisien friksi yang dapat memperkecil pembentukan panas sehingga energi yang terbuang lebih rendah. Produk utama yang umum digunakan sebagai additif ini adalah asam lemak dengan 12-18 atom karbon dan alkohol lemak atau ester dari asam lemak seperti gliserida.

➤ *Foam Inhibitors*

Additif ini digunakan untuk mencegah pelumas menjadi busa karena dapat menurunkan kinerja pelumasan.

➤ *Anti Anti Aus*

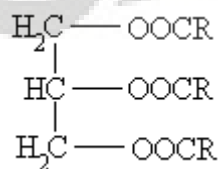
Additif anti aus berfungsi untuk mencegah keausan pada *gear* dan komponen hidraulik. *Zinc dialkyl dithiophosphates* umum digunakan sebagai additif anti aus. Additif ini dapat memicu korosi dan deposit pada kondisi yang sama saat additif terhidrolisis. Karena penguraian terjadi pada suhu diatas 150-200°C menghasilkan hidrogen sulfida dan produk degradasi lainnya yang dapat mengendorkan insulasi elektrik, additif anti aus dihindari penggunaannya pada motor elektrik dan generator.

## 2.4 BAHAN PELUMAS DARI MINYAK SAWIT

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa produk turunan minyak nabati memiliki indeks viskositas yang lebih tinggi serta ketahanan aus dan oksidasi yang lebih baik dibandingkan minyak mineral. Sumber minyak nabati yang potensial untuk dikembangkan di Indonesia adalah minyak sawit karena produksinya cukup berlimpah.

### 2.4.1 Minyak Sawit

Minyak merupakan sebutan dari campuran trigliserida yang berasal dari tumbuh-tumbuhan. Minyak berbeda dengan lemak yang merupakan campuran trigliserida yang berasal dari hewan. Trigliserida adalah suatu ester lemak dengan gliserol. Struktur molekul trigliserida dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Struktur molekul trigliserida.

Minyak kelapa sawit atau *palm oil* berasal dari daging buah kelapa sawit sedangkan minyak inti sawit atau *palm kernel oil* berasal dari inti buah kelapa sawit. Proses ekstraksi dilakukan untuk memperoleh minyak kelapa sawit dan minyak inti sawit dari buah kelapa sawit. Dengan proses ini, dapat dihasilkan 59% *palm oil* dari berat buah kelapa sawit dan sekitar 4% *palm kernel oil*. Minyak kelapa sawit dan minyak inti sawit memiliki perbedaan dalam kandungan asam lemaknya.

Minyak kelapa sawit memiliki kandungan dengan rantai karbon lebih panjang, yaitu 16-18 sedangkan minyak inti sawit memiliki asam lemak dengan rantai karbon 12-14. Kandungan asam lemak dari minyak kelapa sawit dan minyak inti sawit dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8. Kandungan Trigliserida Berdasar Asam Lemak dari Beberapa Minyak dan Lemak<sup>[3]</sup>

Asam Lemak	Rumus Molekul	Minyak Kelapa	Minyak Inti Sawit	Minyak Kelapa Sawit	Tallow (Sapi)	Minyak Kedelai	Minyak Kacang
Kaprilat (%)	$C_8H_{16}O_2$	8	2.5	-	-	-	-
Kaprat (%)	$C_{10}H_{20}O_2$	7	7	-	-	-	-
Laurat (%)	$C_{12}H_{24}O_2$	48	449.6	-	-	-	-
Misristat (%)	$C_{14}H_{28}O_2$	17.5	14.1	1	3	-	95
Palmitat (%)	$C_{16}H_{32}O_2$	8.8	8.8	42.5	29	6.5	-
Stearat (%)	$C_{18}H_{36}O_2$	2	1.3	4	18.5	4.2	-
Oleat (%)	$C_{18}H_{34}O_2$	6	18.5	43	46.5	28	4
Linoleat (%)	$C_{18}H_{32}O_2$	2.5	0.7	9.5	3	52.6	-
Linolenant (%)	$C_{18}H_{30}O_2$	-	-	-	-	8	1

#### 2.4.2 EFAME Gliserol

Minyak sawit tidak dapat digunakan secara langsung sebagai minyak pelumas karena memiliki ikatan rangkap karbon yang masih banyak sehingga mudah mengalami oksidasi pada suhu tinggi dan adanya oksigen. Oleh karena itu,

minyak sawit perlu dimodifikasi untuk mendapatkan produk turunannya yang memiliki ikatan rangkap karbon yang lebih sedikit. Modifikasi yang sudah pernah diteliti di Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia, melalui 3 tahap reaksi, yaitu transesterifikasi, epoksidasi dan pembukaan cincin. EFAMEGLI mempunyai nilai perubahan viskositas terhadap suhu yang lebih rendah dibandingkan dengan HVI 160 S. Tabel 2.9 menunjukkan perbandingan viskositas antara EFAMEGLI dengan minyak lumas mineral HVI 160 S.

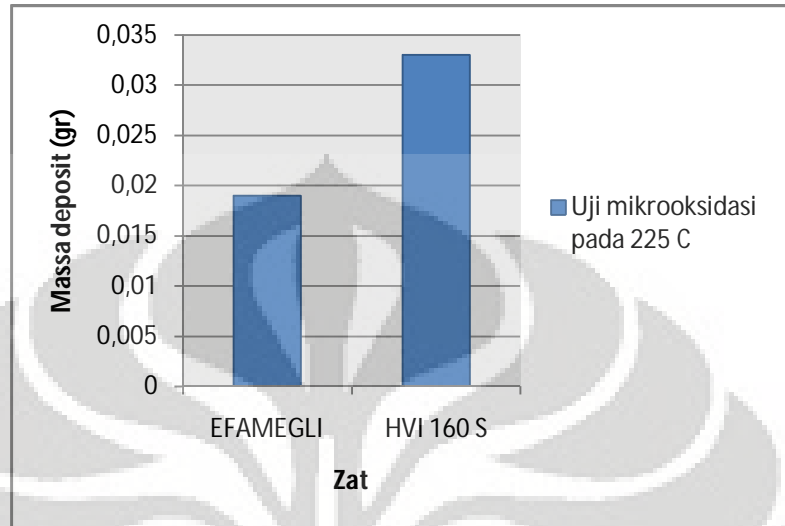
Tabel 2.9. Perbandingan Viskositas EFAMEGLI dan HVI 160 S<sup>[3]</sup>

Zat	Viskositas 40°C (cSt)	Viskositas 100°C (cSt)
EFAMEGLI	35,3965	6,9845
HVI 160 S	96,2928	11,0032

Untuk mengetahui ketahanan oksidasi dilakukan uji mikrooksidasi. Mikrooksidasi merupakan metode untuk menguji ketahanan minyak pelumas berdasarkan prinsip permukaan tipis pada permukaan logam dengan menggunakan *microoxidation tester*. Uji mikrooksidasi dilakukan pada suhu tinggi (>200°C) yang mewakili suhu operasi mesin. Jumlah sample minyak pelumas yang diuji berjumlah sedikit sehingga memungkinkan sample minyak pelumas dapat membentuk lapisan tipis pada permukaan logam yang terdapat di *microoxidation tester*. Data yang didapatkan dari uji ini adalah massa deposit. Semakin banyak jumlah deposit yang terbentuk maka ketahanan oksidasi yang dimilikinya semakin buruk.

Sample minyak sebanyak 59 mg diletakkan pada mangkuk uji, lalu dilakukan uji mikrooksidasi pada suhu 225°C dengan aliran oksigen murni 3 ml/s selama 20 menit. Minyak yang masih tersisa dilarutkan dengan n-heksana, setelah itu keringkan dan timbang berat total mangkuk uji dan massa deposit yang tinggal. Dari 59 mg sample, massa deposit EFAMEGLI sebesar 0,019 gram dan massa deposit HVI 160 S adalah 0,033 gram. Uji ini menunjukkan bahwa EFAMEGLI memiliki massa deposit yang lebih rendah maka ketahanan oksidasi

EFAMEGLI lebih tinggi dibandingkan dengan minyak lumas mineral HVI 160 S. Gambar 2.10 menunjukkan grafik hasil uji mikrooksidasi antara EFAMEGLI dan minyak lumas mineral HVI 160 S.



Gambar 2.10. Grafik hasil uji mikrooksidasi.

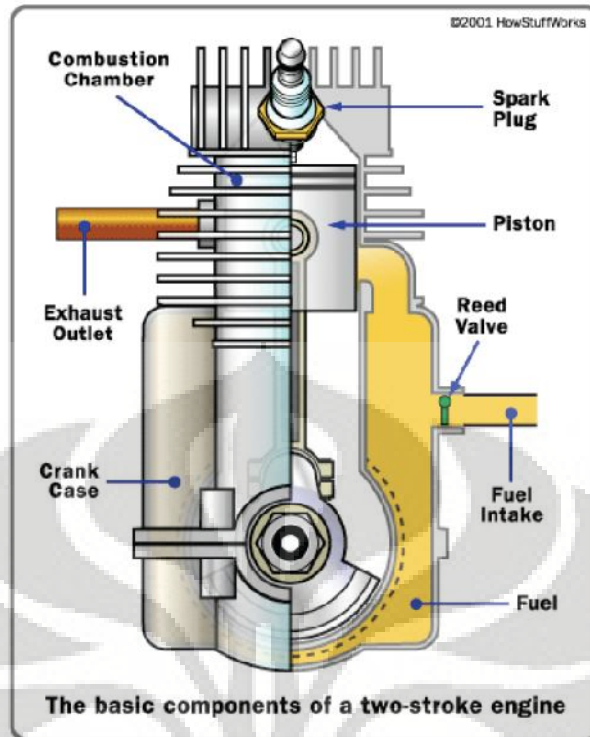
## 2.5 SISTEM PELUMASAN MESIN 2T

Mesin adalah alat untuk merubah energi panas menjadi energi mekanik. Panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar menghasilkan tenaga yang menggerakkan kendaraan.

Mesin otomotif adalah mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*) karena bahan bakar yang menghasilkan tenaga dibakar di dalam mesin. IC ada dua tipe, yaitu : *reciprocating* dan *rotary*. *Reciprocating engine* berarti bergerak naik-turun atau maju-mundur. Sebagian besar mesin otomotif bertipe *reciprocating* yang mempunyai piston bergerak naik-turun di dalam silinder. Sedangkan *rotary engine* mempunyai rotor yang berotasi

### 2.5.1 Silinder Mesin

Silinder mesin merupakan bagian terpenting dari suatu mesin karena di dalamnya terjadi pembakaran bahan bakar yang menghasilkan energi. Bagian yang terpenting dari suatu silinder adalah piston, *connecting rod* dan *crankshaft*. Bagian-bagian mesin dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11. Bagian-bagian mesin.

Di dalam silinder, ketika piston bergerak turun terbentuk ruangan vakuum di dalam silinder. Keadaan ini membuat udara bercampur bahan bakar yang telah menjadi gas pada tekanan atmosfer di luar silinder masuk ke dalam silinder melalui *intake valve* yang terbuka. *Intake valve* akan tertutup ketika piston telah berada di bagian bawah (*bottom dead center/BDC*) silinder dan mulai naik lagi.

Saat piston bergerak naik, campuran udara dan bahan bakar akan terkompresi dalam ruangan kecil yang disebut sebagai ruang pembakaran. Ketika piston telah mendekati posisi atas (*top dead center/TDC*), busi (*spark plug*) akan menyala yang memicu pembakaran campuran udara dan bakar bakar. Suhu pembakaran akan naik hingga  $6000^{\circ}\text{C}$  dan menyebabkan tekanan yang tinggi di dalam silinder hingga mencapai 4000 MPa. Tekanan ini mendorong piston bergerak turun dengan kekuatan hampir 4000 pounds. *Crankshaft* yang terhubung dengan piston melalui *connecting rod* akan berputar yang menyebabkan *gears* dan *shaft* menggerakkan mobil.

Setelah piston mencapai BDC, *valve* keluaran (*exhaust valve*) akan terbuka dan gas buang meninggalkan silinder melalui *exhaust valve* saat piston bergerak naik.

Untuk melumasi bagian-bagian mesin jenis 2T, pelumas ikut dibakar bersama-sama dengan campuran bahan bakar-udara. Pencampuran dapat dilakukan secara langsung atau dengan pompa injeksi yang membutuhkan tempat penyimpanan pelumas dan bahan bakar yang terpisah. Rasio antara bahan bakar-pelumas dapat bervariasi dari 20:1, 30:1, 40:1, 50:1, 75:1 dan 100:1. Mesin 2T memiliki desain yang tidak rumit dan memiliki rasio daya/berat yang besar. Mesin 2T diaplikasikan pada gergaji listrik, skuter, mesin kendaraan bermotor, mesin pemotong rumput, mesin kapal dll.

### 2.5.2 Komponen Pelumas Mesin 2T

Tidak berbeda dengan pelumas pada umumnya, pelumas 2T tersusun atas minyak dasar dan additif. Jenis minyak dasar yang umum digunakan dapat berasal dari minyak mineral dan sintetik.

Sebagian besar pelumas 2T dibuat dari minyak dasar API golongan III, IV dan V. Group III (*hydrocracked/hydro-treated petroleum oils*) digunakan pada pelumas non-sintetik dan campuran sintetik dan group IV digunakan pada pelumas sintetik dan campuran sintetik. Sedangkan group V jarang digunakan karena mahal dan sukar bercampur dengan bensin. Beberapa kelebihan minyak sintetik dari minyak mineral adalah mempunyai *flash point* yang lebih tinggi, mentransfer panas yang lebih baik dan tidak mudah terdekomposisi pada suhu tinggi. Additif untuk pelumas 2T terdiri dari : *detergent/dispersant*, anti aus dan antioksidan.

#### ➤ *Detergent/dispersant*

*Detergent/dispersant* berfungsi untuk mendispersikan deposit dalam pelumas agar tidak terjadi pengumpulan yang dapat menyebabkan penghambatan saluran pembuangan, *ring* dan *power valve*. *Detergent/dispersant* yang biasa digunakan adalah *ashless* dan *low ash*. *Detergent ashless* digunakan pada aplikasi suhu yang rendah dimana terdapat kapasitas pendinginan berlebih dan tidak

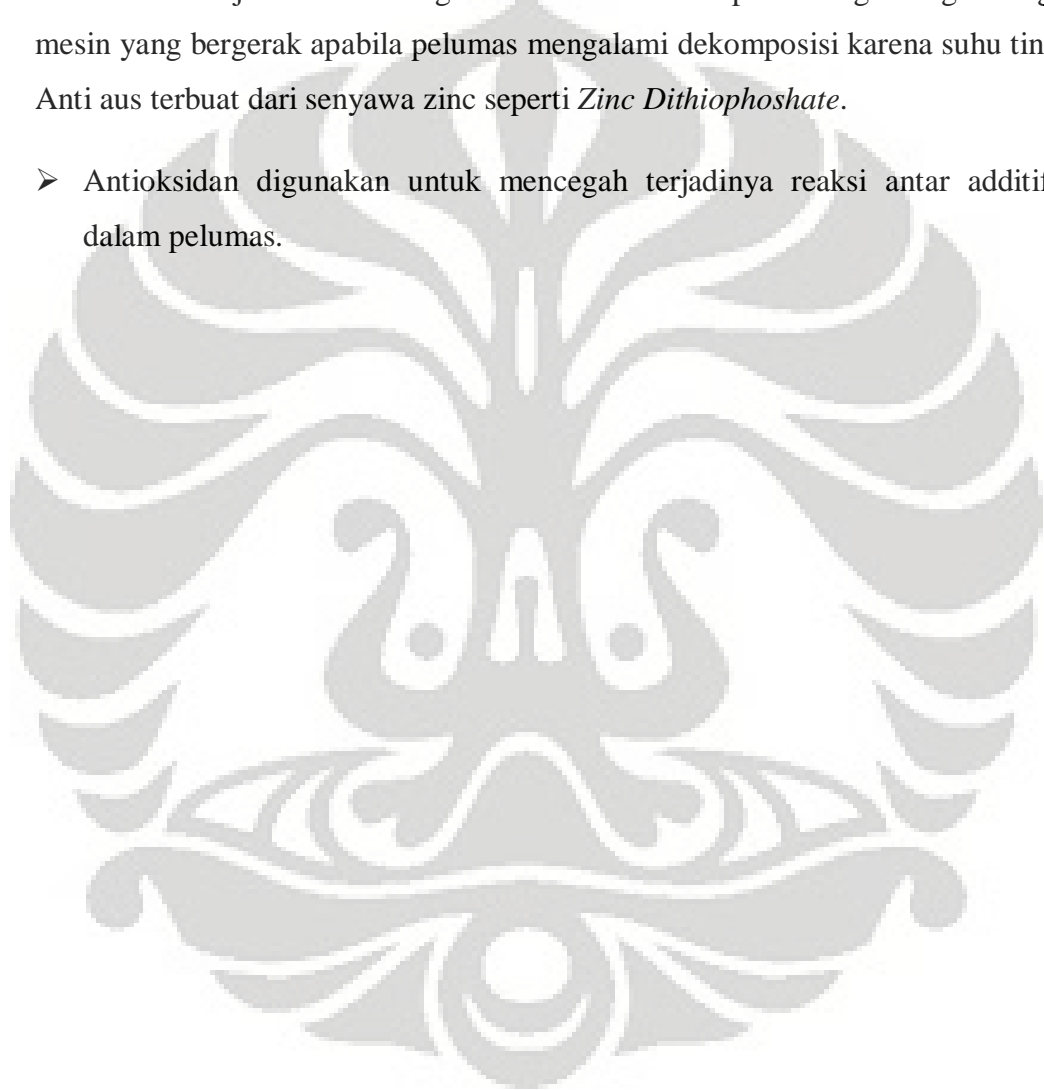


digunakannya *power valve*. *Ashless* dibuat dari senyawa nitrogen organik (*hydrazine*) yang tidak menghasilkan abu waktu dibakar. *Low ash* dibuat dari senyawa kalsium dan magnesium (logam berat) yang digunakan untuk aplikasi pada suhu lebih tinggi.

➤ Anti aus

Additif jenis ini berfungsi untuk membentuk perlindungan bagian-bagian mesin yang bergerak apabila pelumas mengalami dekomposisi karena suhu tinggi. Anti aus terbuat dari senyawa zinc seperti *Zinc Dithiophosphate*.

➤ Antioksidan digunakan untuk mencegah terjadinya reaksi antar additif di dalam pelumas.

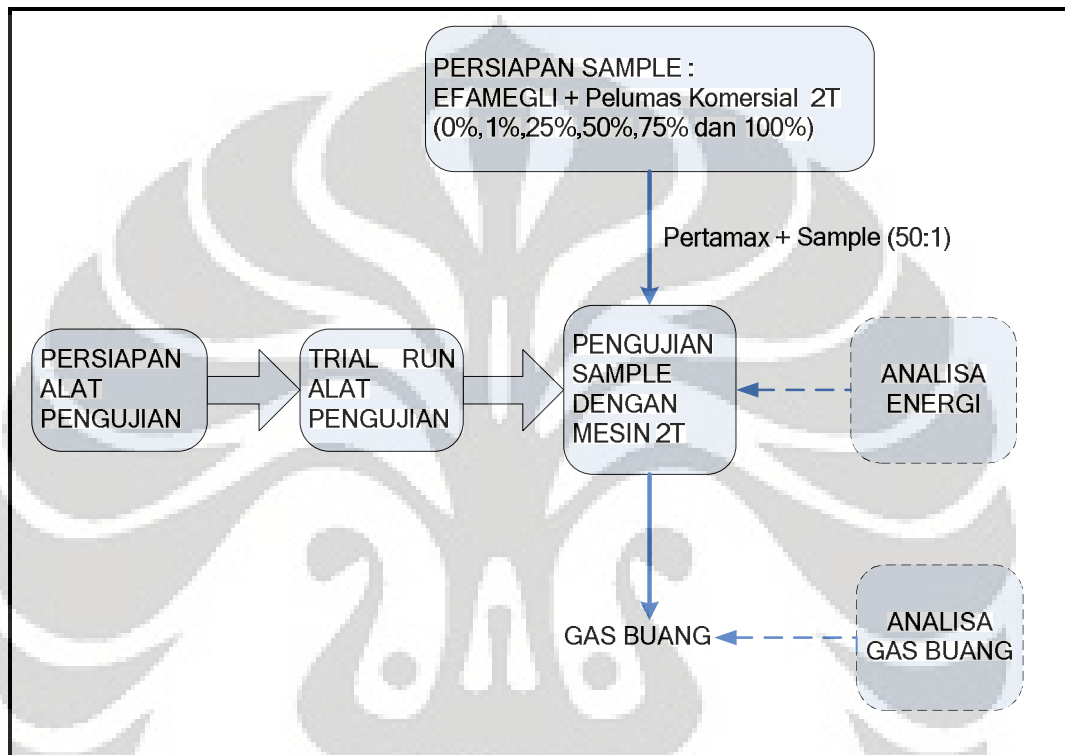




# BAB III

## METODE PENELITIAN

### 3.1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN

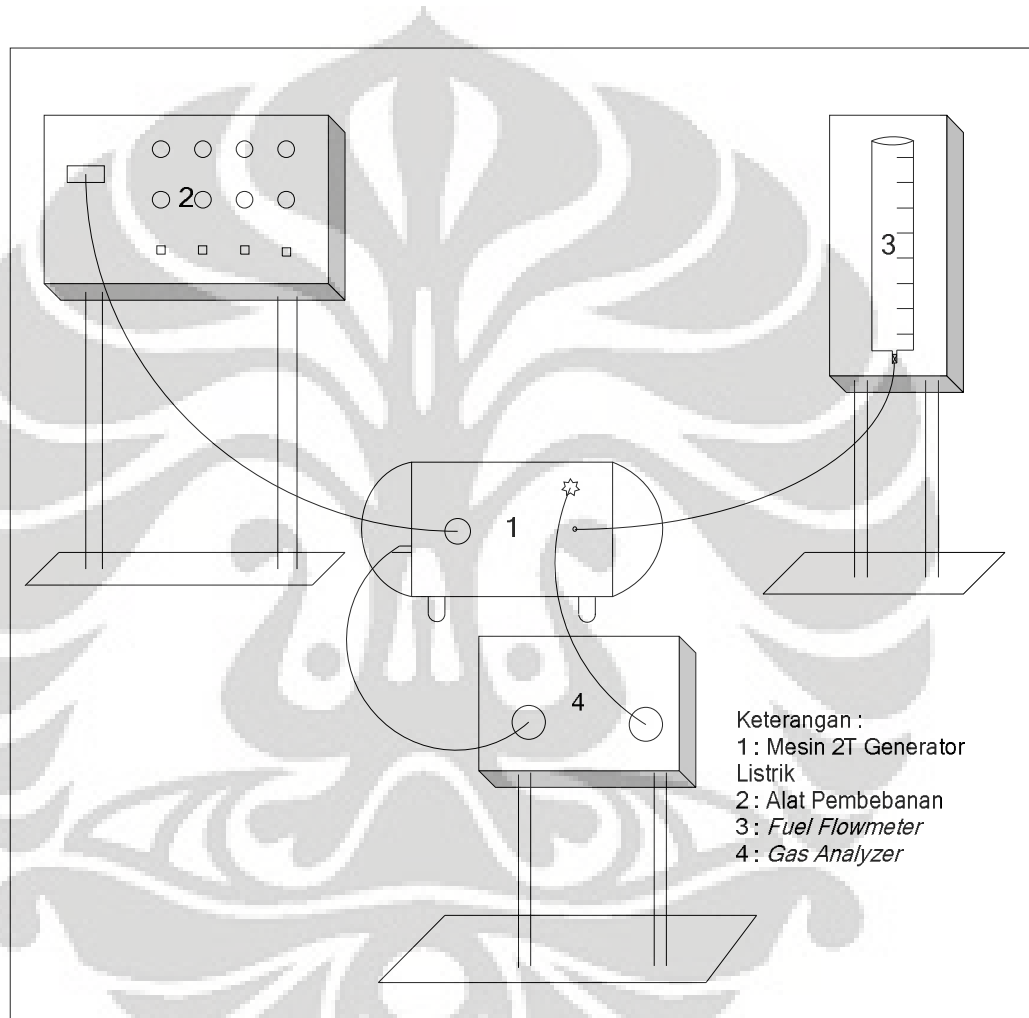


Gambar 3.1. Diagram alir penelitian.

Gambar 3.1 menunjukkan diagram alir penelitian. Penelitian terdiri atas 5 tahap, tahap pertama dalam penelitian ini adalah persiapan alat pengujian. Persiapan dalam hal ini berupa perancangan alat pengujian yang terdiri atas mesin 2T generator listrik, alat pembebanan, *fuel flowmeter* dan *gas analyzer*. Tahap selanjutnya adalah *trial run* alat untuk menguji apakah alat pengujian dapat bekerja dengan baik serta untuk mengidentifikasi kerusakan-kerusakan yang akan timbul. Selanjutnya dilakukan persiapan sample. Tahap keempat adalah pengujian sample dan tahap terakhir adalah analisa hasil pengujian.

### 3.2 ALAT PENGUJIAN

Alat pengujian dalam penelitian ini merupakan rangkaian yang terdiri atas mesin 2T generator listrik, alat pembebanan, *fuel flowmeter* dan *gas analyzer*. Gambar 3.2 berikut ini menunjukkan skema lengkap alat penelitian yang terdiri atas :



Gambar 3.2. Skema alat penelitian.

#### 1. Mesin 2T Generator Listrik

Mesin 2T generator listrik ini disebut model TG-1200, menggunakan generator tanpa sikat (*brushless*) yang digerakkan oleh mesin 2T yang memiliki 1 silinder mesin. Mesin 2T ini dihidupkan secara manual. Rasio bahan bakar dan

pelumas untuk mesin 2T ini adalah 50:1. Generator TG-1200 mampu menghasilkan daya maksimum 950 watt. Generator ini memiliki data teknis yang ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Spesifikasi Mesin Generator TG-1200<sup>[7]</sup>

Generator	Tegangan (Volt)	220
	Daya maksimum (KVA)	0,9
Mesin	Kategori	2 Tak
	Volume tanki (liter)	4
Ukuran dimensi	Panjang (mm)	380
	Lebar (mm)	330
	Tinggi (mm)	340
	Berat (kg)	22

## 2. Alat Pembebanan

Alat pembebanan terdiri atas beberapa buah lampu 100 watt yang disusun secara seri yang berfungsi sebagai peralatan pembebanan mesin yang disesuaikan terhadap beban ujinya.

## 3. Gas analyzer

*Gas analyzer* digunakan untuk menganalisa gas buang yang dikeluarkan oleh mesin dengan mengukur komposisi dari gas buangnya. Emisi gas buang yang diukur adalah emisi hidrokarbon (HC), CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> dan NO<sub>x</sub>.

## 4. Fuel Flowmeter

*Fuel flowmeter* berfungsi untuk mengukur jumlah bahan bakar yang dikonsumsi. *Fuel flowmeter* berupa gelas ukur dengan volume 1 liter dan dilengkapi dengan skala. Antara *fuel flowmeter* dan mesin dihubungkan dengan selang yang dilengkapi dengan valve untuk mengalirkan sample ke mesin.

### 3.3 PENYIAPAN SAMPLE

Sample merupakan campuran yang terdiri atas bahan bakar (Pertamax), pelumas 2T komersial (Mesrania) dan EFAMEGLI. EFAMEGLI dicampurkan ke dalam pelumas Mesrania 2T dengan variasi yang berbeda-beda, yaitu 0 (tanpa EFAMEGLI), 1%, 25%, 50%, 75% dan 100%. Selanjutnya campuran ini akan

dicampurkan ke dalam bahan bakar dengan perbandingan bahan bakar : pelumas adalah 50:1. Tabel 3.2 menampilkan perbandingan antara jumlah pertamax, pelumas 2T komersial dan EFAMEGLI dalam sample.

Tabel 3.2. Perbandingan Jumlah Pertamax, Pelumas Mesin 2T dan EFAMEGLI dalam Sample

Sample	Jumlah		
	Pertamax (ml)	Pelumas mesin 2T (ml)	EFAMEGLI (ml)
EFAMEGLI 0%	1000	20	0
EFAMEGLI 1%	1000	19,8	0,2
EFAMEGLI 25%	1000	15	5
EFAMEGLI 50%	1000	10	10
EFAMEGLI 75%	1000	5	15
EFAMEGLI 100%	1000	0	20

Alat yang digunakan selama proses penyiapan sample terdiri atas pipet ukur 5 ml, gelas ukur 1 liter, gelas ukur 50 ml, corong dan pengaduk. Tabel 3.3 menampilkan alat dan bahan pada proses penyiapan sample.

Tabel 3.3. Alat dan Bahan untuk Penyiapan Sample

Alat	Bahan
Pipet ukur 5 ml	Pertamax
Gelas ukur 1 liter	Pelumas 2T komersial
Gelas ukur 50 ml	EFAMEGLI
Corong	
Pengaduk	

### 3.4 VARIABEL PENELITIAN

Pada penelitian ini dilakukan pengujian EFAMEGLI sebagai pelumas mesin 2T. Variabel-variabel tetap dalam penelitian adalah beban mesin. Variabel bebasnya adalah konsentrasi EFAMEGLI dalam pelumas mesin 2T. Variabel-variabel yang diukur adalah energi dan emisi gas buang (CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HC dan O<sub>2</sub>) yang dihasilkan oleh mesin 2T generator listrik.

### 3.5 PROSEDUR PENGUJIAN

Pada penelitian ini diukur energi yang dihasilkan mesin dan komposisi gas buang (CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> dan HC) untuk komposisi EFAMEGLI yang berbeda-beda. Variabel yang akan di set konstan adalah beban mesin. Prosedur pengujiannya adalah sebagai berikut:

1. Merangkai peralatan pengujian yang terdiri atas mesin 2T generator listrik, alat pembebanan, *fuel flowmeter* dan *gas analyzer* dalam satu kesatuan.
2. Mengalirkan campuran bahan bakar dan memastikan tidak ada gelembung udara di dalam selang untuk menghindari kesalahan.
3. Menghidupkan mesin. Prosedur untuk menghidupkan mesin adalah sebagai berikut :
  - a. Menggeser *choke* kearah kanan secara penuh lalu menekan saklar mesin ke posisi on.
  - b. Menarik tali *starter* secara perlahan sampai posisi tertentu, kemudian tarik secara cepat dan langsung dilepaskan.
  - c. Setelah mesin hidup, menggeser *choke* kearah kiri secara penuh.
4. Melakukan pemanasan mesin generator dalam waktu 5 menit pada beban 200 watt. Hal ini dilakukan untuk menunggu mesin menjadi stabil.
5. Beban mesin diset tetap pada 400 watt dan direncanakan untuk menghabiskan sejumlah tertentu bahan bakar.
6. Menetapkan *zero time*, yaitu waktu mulai untuk mengambil data. Prosedur untuk menetapkan *zero time* adalah sebagai berikut :
  - a. Menekan tombol atas pada Whmeter hingga pada layar Whmeter tertampil angka 7.
  - b. Bila posisi permukaan atas campuran bahan bakar pada *fuel flowmeter* sudah berada pada posisi yang diinginkan, maka menekan *stopwatch* dan tombol bawah pada Whmeter secara bersamaan.

7. Berikut adalah prosedur menggunakan *gas analyzer* untuk menganalisa komposisi gas buang:
  - a. Menyambungkan kabel pada *gas analyzer* ke sumber listrik, setelah tersambung, layar RPM pada *gas analyzer* akan menampilkan angka 01, ini berarti terjadi proses pemanasan. Pemanasan akan berlangsung selama 15 menit.
  - b. Setelah itu, layar RPM akan menampilkan angka 97, hal ini berarti *gas analyzer* melakukan *autozero*. Apabila layar RPM sudah menampilkan angka 03, berarti *gas analyzer* pada posisi *standby* dan siap untuk melakukan pengukuran.
  - c. Memasukkan kabel pengambil sampel *gas analyzer* ke dalam saluran gas buang mesin 2T generator listrik. Secara otomatis, *gas analyzer* akan menampilkan data analisa komposisi gas buang pada layar. Pengambilan sampel gas buang dilakukan setiap jangka waktu tertentu.
8. Untuk mematikan mesin maka matikan beban mesin terlebih dahulu lalu menekan tombol start ke arah *off*.
9. Membuang sisa sample dari silinder mesin dan *fuel flowmeter* agar tidak bercampur dengan sample selanjutnya yang akan di uji.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dijelaskan mengenai hasil trial run alat uji, analisa energi dan emisi gas buang yang dihasilkan mesin 2T generator listrik. Analisa emisi gas buang meliputi analisa emisi CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub> dan NO<sub>x</sub>.

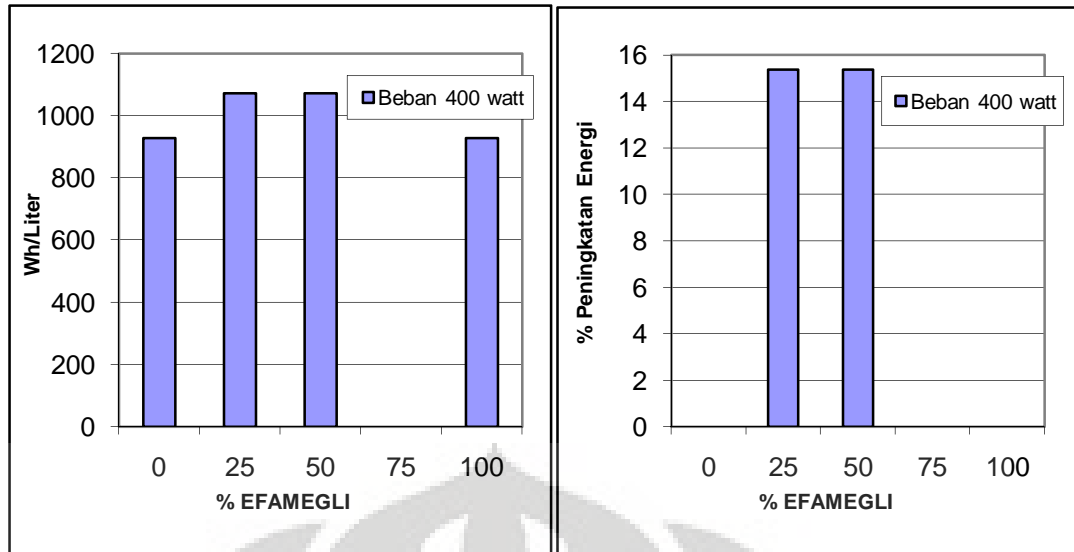
#### 4.1 HASIL *TRIAL RUN* ALAT UJI

Proses trial run alat uji dilakukan sebanyak 4 kali, yaitu pada beban mesin 200 watt, 400 watt dan 700 watt. Waktu mesin beroperasi dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Waktu Mesin Beroperasi pada *Trial Run* Alat Uji

%EFAMEGLI	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 4
	400 watt;14ml t (menit)	700 watt;500 ml t (menit)	400 watt;100 ml t (menit)	200 watt;510 ml t (menit)
0	2 min 7 det	53 min 43 det	13 min 20 det	46 min 50 det
1				
25	2 min 16 det	30 min 30 det	13 min 16 det	30 min 51 det
50	2 min 33 det	28 min 33 det	13 min 25 det	29 min 31 det
75	1 min 50 det	25 min 40 det	12 min 51 det	24 min 50 det
100	2 min 10 det	20 min 18 det	8 min 30 det	18 min 51 det

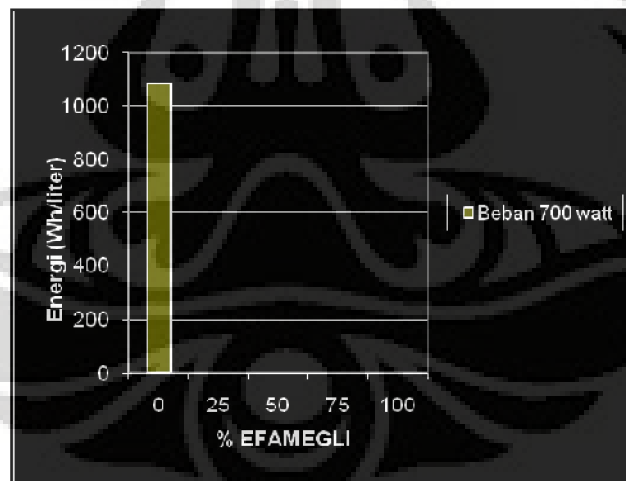
Pada *trial run* alat uji yang pertama, beban mesin diset pada 400 watt dan jumlah sample yang dihabiskan adalah 14 ml. Pengujian dilakukan untuk variasi konsentrasi EFAMEGLI didalam pelumas sebesar 0%,1%,25%,50%,75% dan 100%. Hasil trial run dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Hasil *trial run* pada beban 400 watt(1).

Pada *trial run* pertama, untuk konsentrasi EFAMEGLI 75%, mesin mati sebelum sample habis (mesin hanya bertahan beroperasi selama 1 menit 50 detik). Sedangkan untuk konsentrasi 0%, 25%, 50% dan 100%, sample habis diuji. Rata-rata waktu mesin beroperasi untuk keempat sample adalah 2 menit 16 detik.

Pada *trial run* yang kedua, beban dinaikkan menjadi 700 watt dan jumlah sample 544 ml. Hasil *trial run* ini dapat dilihat pada Gambar 4.2.



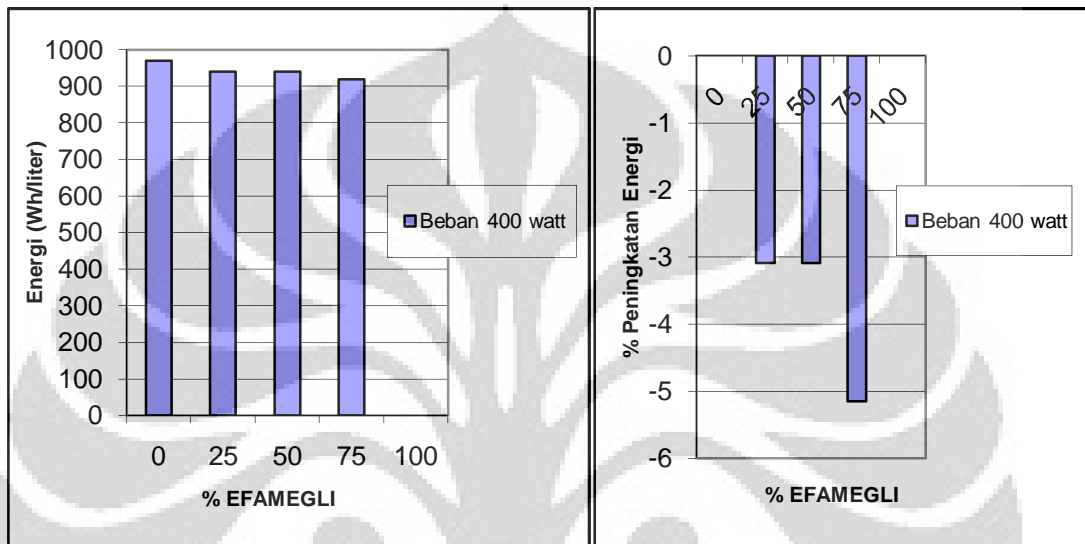
Gambar 4.2. Hasil *trial run* pada beban 700 watt.

*Trial run* alat pengujian pada beban 700 watt hanya berhasil dilakukan untuk pelumas 2T tanpa EFAMEGLI (EFAMEGLI 0%). Mesin beroperasi selama 53 menit 43 detik dan energi yang dihasilkan sebesar 1088 Wh/liter. Sedangkan untuk konsentrasi EFAMEGLI 25%, 50%, 75% dan 100%, mesin mati pada



waktu pengujian. Waktu mesin beroperasi sebelum mati untuk keempat konsentrasi tersebut adalah 30 menit (EFAMEGLI 25%), 28 menit (50% EFAMEGLI), 25 menit (EFAMEGLI 75%) dan 20 menit (EFAMEGLI 100%).

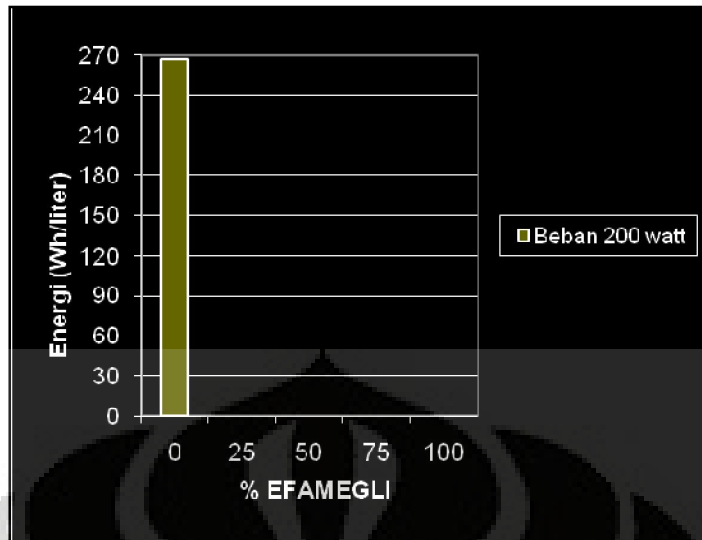
Untuk *trial run* ketiga, beban mesin diturunkan kembali menjadi 400 watt dan jumlah sample 100 ml. Hasil *trial run* ini dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3. Hasil *trial run* pada beban 400 watt(2).

Untuk *trial run* ketiga, pada pengujian sample dengan EFAMEGLI 100%, mesin mati sebelum sample habis (bertahan beroperasi selama 8 menit 30 detik). Sedangkan untuk konsentrasi EFAMEGLI 0%, 25%, 50% dan 75% berhasil dilakukan pengujian hingga sample habis, rata-rata mesin beroperasi adalah 13 menit 3 detik.

Untuk memastikan apakah hasil *trial run* ketiga sudah benar, maka dilakukan *trial run* keempat pada beban 400 watt. Pada *trial run* ini, mesin mati ditengah pengujian untuk semua sample, baik EFAMEGLI 0%, 25%, 50%, 75% maupun 100%. Sehingga dilakukan pengurangan beban menjadi 200 watt untuk menghabiskan sample sebanyak 510 ml. Hasil *trial run* pada beban 200 watt dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Hasil *trial run* pada beban 200 watt.

Pada beban 200 watt, mesin yang menggunakan pelumas 2T tanpa campuran EFAMEGLI (EFAMEGLI 0%) beroperasi selama 46 menit 50 detik dan menghasilkan energi sebesar 266 Wh/liter. Sedangkan untuk EFAMEGLI 25%, 50%, 75% dan 100%, mesin mati sebelum sample habis. Waktu mesin bertahan hidup sebelum mati adalah 30 menit 51 detik (EFAMEGLI 25%), 29 menit 31 detik (50% EFAMEGLI), 24 menit 50 detik (EFAMEGLI 75%) dan 18 menit 51 detik (EFAMEGLI 100%).

Hasil *trial run* menunjukkan untuk beberapa konsentrasi EFAMEGLI pada beban tertentu, mesin hanya beroperasi pada waktu yang pendek. Dugaan awal penyebab buruknya performansi mesin adalah adanya penumpukan deposit hasil pembakaran EFAMEGLI di dalam ruang pembakaran yang dapat mengganggu kerja mesin. Tetapi setelah mesin dibongkar, deposit yang terdapat di dalam ruang pembakaran hanya sedikit sekali. Dalam proses pembongkaran mesin ini, diketahui bahwa *packing cylinder head* mesin telah patah sehingga mesin tidak dapat bekerja dengan baik. Oleh karena itu dilakukan penggantian *packing cylinder head*.

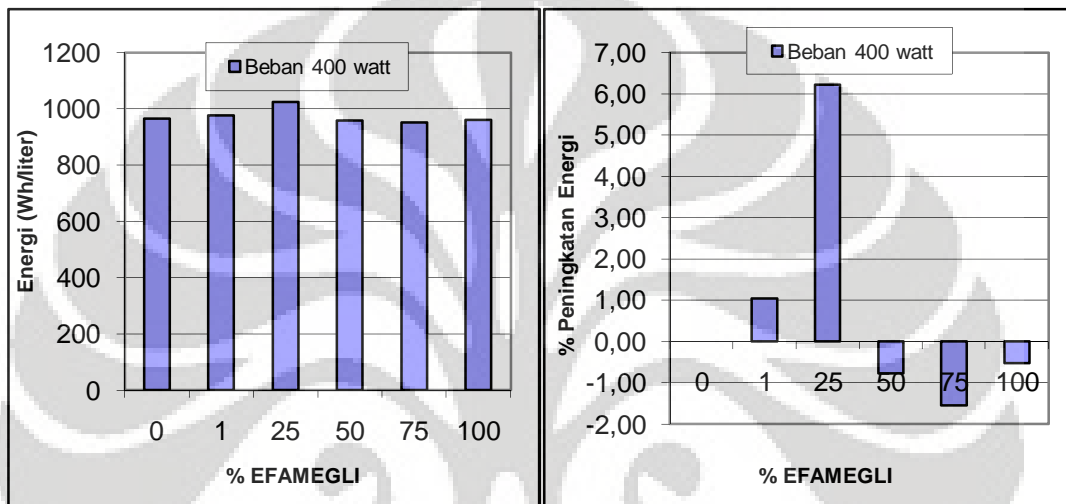
#### 4.2 HASIL PENGUJIAN SAMPLE

Setelah proses *trial run*, dilakukan pengujian terhadap sample. Sub bab ini menjelaskan mengenai hasil pengujian sample. Hal-hal yang dijelaskan adalah

analisa perbandingan energi dan emisi gas buang yang dihasilkan oleh mesin 2T generator listrik.

#### 4.2.1 Analisa Perbandingan Energi

Pengujian sample pada mesin 2T generator listrik dilakukan pada beban mesin 400 watt dan jumlah sample 400 ml. Hasil pengujian sample ini dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5. Hasil pengujian sample pada beban 400 watt.

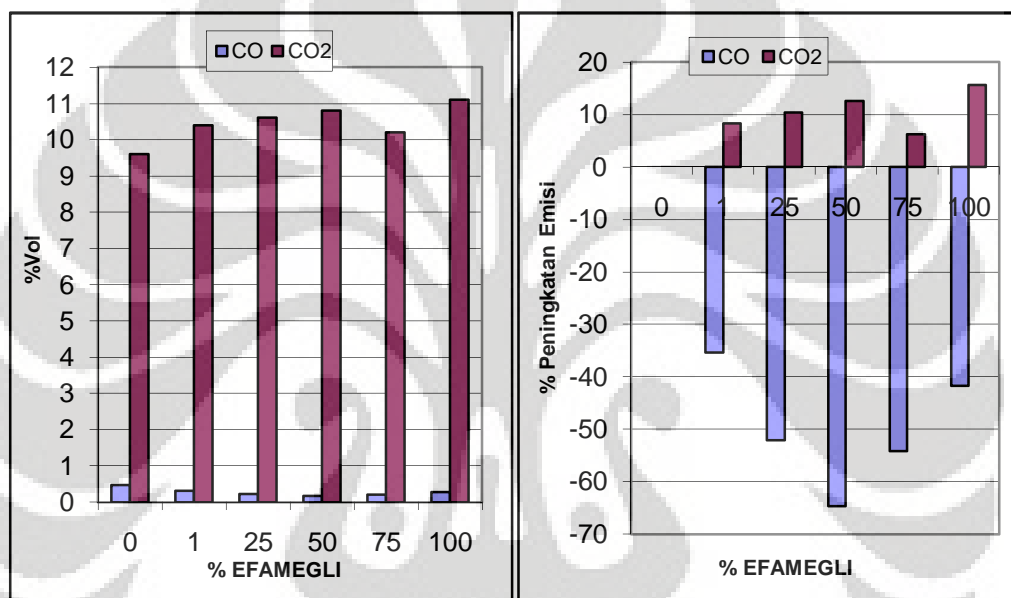
Pengujian ini berhasil dilakukan untuk semua sample, Rata-rata waktu mesin beroperasi adalah 1 jam 4 menit. Energi yang dihasilkan mesin yang menggunakan pelumas 2T dicampur dengan EFAMEGLI 1% dan 25% lebih besar dibandingkan dengan energi yang dihasilkan mesin yang menggunakan pelumas 2T tanpa EFAMEGLI (EFAMEGLI 0%), peningkatan energinya masing-masing sebesar 1% dan 6%. Tapi penggunaan pelumas 2T dengan campuran EFAMEGLI 50%, 75% dan 100% menghasilkan energi yang lebih rendah dibandingkan apabila mesin menggunakan pelumas 2T tanpa EFAMEGLI, penurunan energinya masing-masing sebesar 1% ; 2% dan 1%. Seharusnya semakin besar konsentrasi EFAMEGLI didalam pelumas 2T komersial maka energi yang dihasilkan akan semakin besar karena lubrisitas EFAMEGLI lebih bagus dari minyak mineral sehingga fungsi pelumasan yang diberikan oleh EFAMEGLI lebih baik.

## 4.2.2 Analisa Emisi Gas Buang

*Gas analyzer* digunakan untuk mengukur emisi gas buang yang dihasilkan oleh mesin 2T generator listrik. Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai analisa terhadap emisi gas buang CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub> dan NO<sub>x</sub>.

### 4.2.2.1 Emisi Gas Buang CO dan CO<sub>2</sub>

Hasil analisa emisi gas CO dan CO<sub>2</sub> pada pengujian sample dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6. Emisi gas CO dan CO<sub>2</sub> pada beban 400 watt.

Emisi gas CO<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh mesin 2T generator listrik semakin besar apabila konsentrasi EFAMEGLI didalam pelumas 2T semakin tinggi. Emisi gas CO<sub>2</sub> yang dihasilkan adalah 10 % vol; 10% vol; 11% vol; 12 % vol; 10% vol; 11% vol berturut-turut untuk konsentrasi EFAMEGLI 0%, 1%, 25%, 50%, 75% dan 100%. Prosentase peningkatan emisi CO<sub>2</sub> berturut-turut adalah 8%; 10%; 13%; 6% dan 16%.

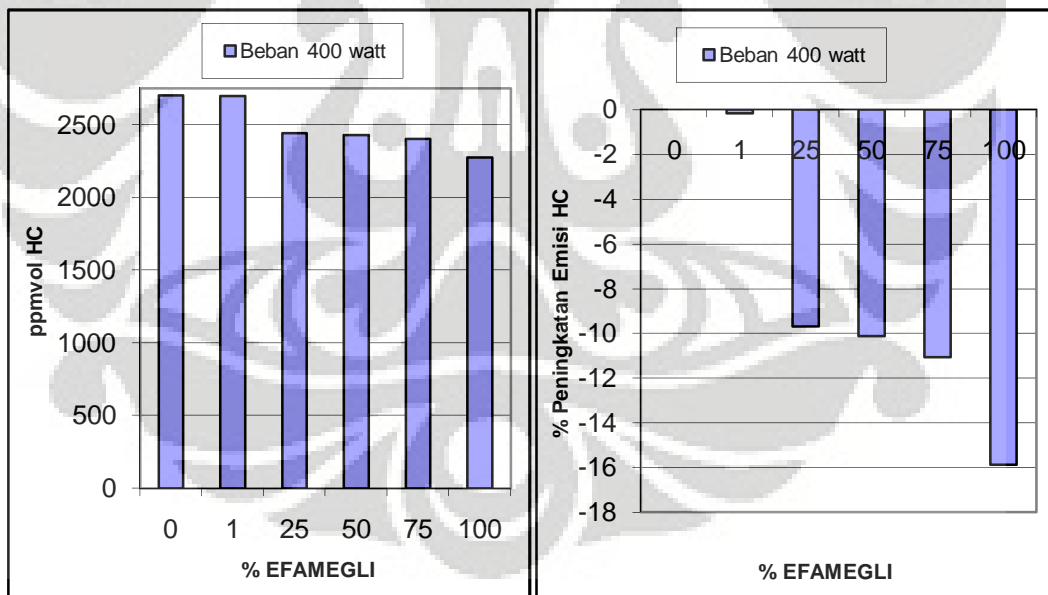
Emisi gas CO yang dihasilkan oleh mesin 2T generator listrik semakin rendah apabila konsentrasi EFAMEGLI dalam pelumas 2T semakin tinggi. Emisi gas CO yang dihasilkan adalah 0,5 % vol; 0,3 % vol; 0,2 % vol; 0,2% vol; 0,2 % vol; 0,3 % vol berturut-turut untuk konsentrasi EFAMEGLI 0%, 1%, 25%, 50%, 75%

dan 100%. Prosentase penurunan emisi gas CO cukup besar, yaitu berturut-turut 35%; 52%; 65%; 54% dan 42%.

Selain dari hasil pembakaran bahan bakar, emisi gas CO dan CO<sub>2</sub> juga dihasilkan dari pembakaran pelumas di dalam ruang pembakaran. Volatilitas EFAMEGLI yang lebih rendah dibandingkan dengan pelumas mineral menyebabkan kemungkinan untuk terbakar lebih kecil dibandingkan dengan pelumas mineral sehingga emisi gas CO yang dihasilkan lebih rendah. Adanya unsur oksigen pada gugus ester EFAMEGLI meningkatkan terjadinya pembakaran sempurna terhadap pelumas sehingga semakin tinggi konsentrasi EFAMEGLI maka emisi gas CO<sub>2</sub> akan semakin besar.

#### 4.2.2.2 Emisi Gas Buang HC

Emisi gas buang HC berasal dari dua sumber, yaitu hidrokarbon yang tidak terbakar dan pelumas. Hasil analisa emisi gas HC dapat dilihat pada Gambar 4.7 dibawah ini.



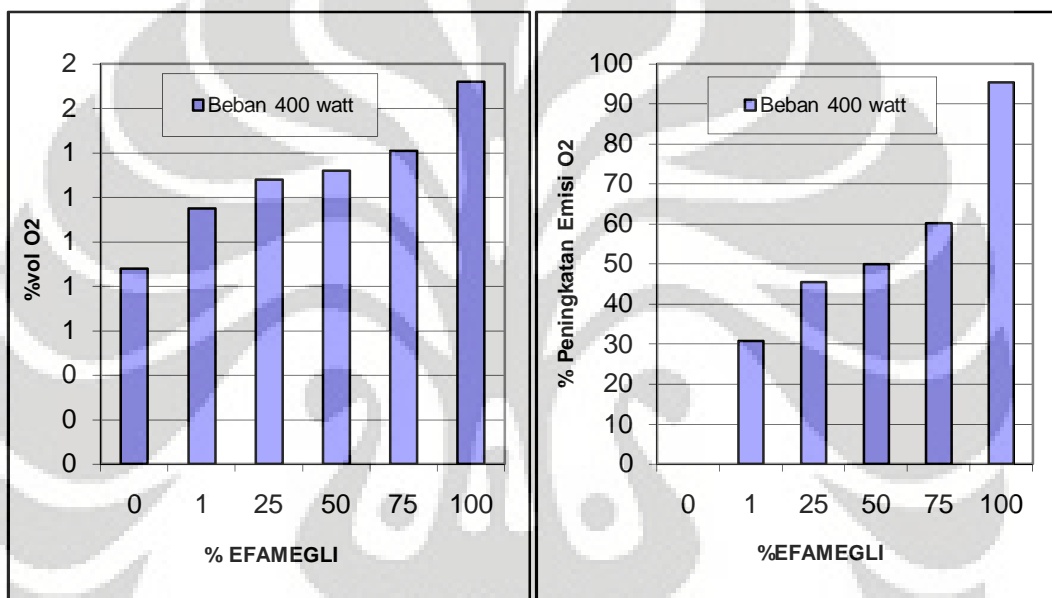
Gambar 4.7. Emisi gas HC pada beban 400 watt.

Emisi gas HC semakin kecil apabila konsentrasi EFAMEGLI di dalam pelumas 2T semakin tinggi. Emisi gas HC berturut-turut adalah 2703 ppmvol, 2698 ppmvol, 2441 ppmvol, 2429 ppmvol, 2404 ppmvol dan 2274 ppmvol untuk EFAMEGLI 0%, 1%, 25%, 50%, 75% dan 100%. Prosentase penurunan emisi

gas HC berturut-turut adalah 0,2%; 10%; 10%; 11% dan 16%. Adanya unsur oksigen pada gugus ester EFAMEGLI meningkatkan terjadinya pembakaran pelumas sehingga hidrokarbon yang teremisikan akan lebih kecil.

#### 4.2.2.3 Emisi Gas Buang O<sub>2</sub>

Emisi O<sub>2</sub> menunjukkan jumlah oksigen yang tidak digunakan pada proses pembakaran. Bila emisi O<sub>2</sub> tinggi maka lebih sedikit O<sub>2</sub> dari udara yang terpakai untuk pembakaran[2]. Hasil analisa emisi gas buang O<sub>2</sub> dapat dilihat pada Gambar 4.8.



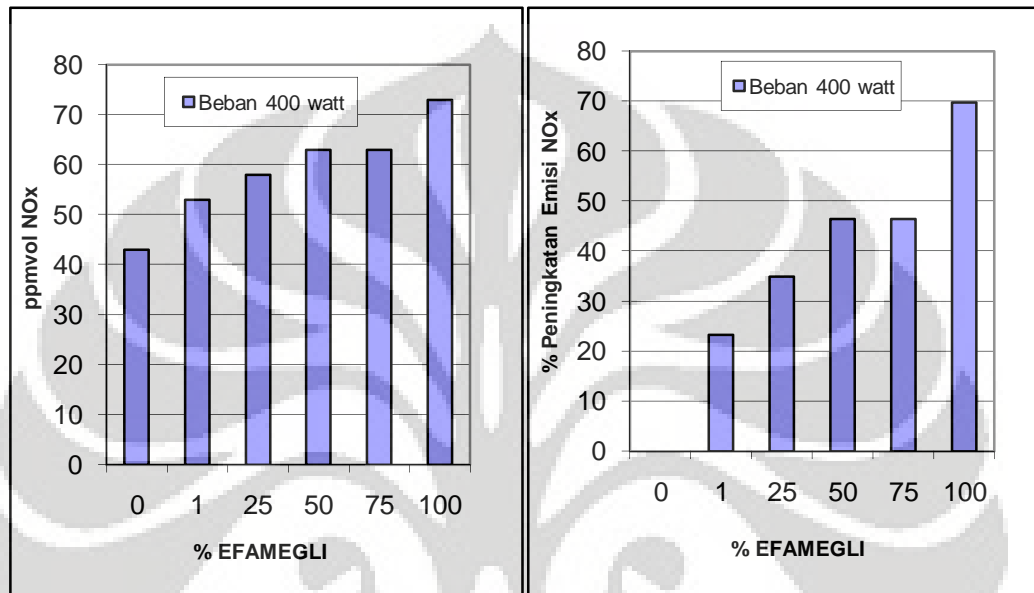
Gambar 4.8. Emisi gas O<sub>2</sub> pada beban 400 watt.

Pada pengujian sample, semakin tinggi konsentrasi EFAMEGLI dalam pelumas 2T maka O<sub>2</sub> yang diemisikan semakin tinggi. Emisi gas O<sub>2</sub> adalah 1 % vol; 1% vol; 1% vol; 1% vol; 1% vol; 2 % vol berturut-turut untuk EFAMEGLI 0%, 1%, 25%, 50%, 75% dan 100%. Prosentase peningkatan emisi gas O<sub>2</sub> masing-masing 31%; 45%; 50%; 60% dan 95%.

Adanya unsur oksigen pada gugus ester EFAMEGLI menjadi sumber oksigen pada proses pembakaran selain dari udara bebas. Asupan oksigen dari gugus ester ini digunakan untuk pembakaran sehingga oksigen dari udara bebas yang tidak dikonsumsi oleh pelumas dan bahan bakar akan semakin tinggi apabila konsentrasi EFAMEGLI di dalam pelumas 2T semakin tinggi.

#### 4.2.2.4 Emisi Gas Buang NO<sub>x</sub>

Emisi NO<sub>x</sub> yang dihasilkan oleh suatu mesin dapat berasal dari dua sumber, yaitu reaksi gas nitrogen dari udara karena suhu tinggi pada komponen logam mesin dan reaksi pembakaran pelumas yang didalamnya terkandung unsur nitrogen[8]. Hasil analisa emisi gas buang NO<sub>x</sub> dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9. Emisi gas NO<sub>x</sub> pada beban 400 watt.

Pada pengujian sample, emisi NO<sub>x</sub> yang dihasilkan adalah 43 ppmvol, 53 ppmvol, 58 ppmvol, 63 ppmvol, 63 ppmvol, 73 ppmvol berturut-turut untuk EFAMEGLI 0%, 1%, 25%, 50%, 75% dan 100%. Prosentase peningkatan emisi NO<sub>x</sub> masing-masing adalah 23%; 35%; 47%; 47% dan 70%.

Emisi NO<sub>x</sub> yang semakin tinggi apabila konsentrasi EFAMEGLI pada pelumas 2T semakin tinggi disebabkan karena adanya kandungan *p-Flouoro-3-nitrobenzoic acid* dalam EFAMEGLI. Hasil GCMS EFAMEGLI dapat dilihat pada Lampiran 7.



# **BAB V**

## **PENUTUP**

### **5.1 KESIMPULAN**

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian yang telah dilakukan adalah :

1. Mesin 2T generator listrik yang menggunakan pelumas mineral menghasilkan emisi gas CO sebesar 0,48 % vol dan emisi CO<sub>2</sub> sebesar 10% vol. Sedangkan penggunaan EFAMEGLI sebagai pelumas mesin 2T generator listrik menghasilkan emisi CO 42% lebih rendah dan emisi CO<sub>2</sub> 16% lebih tinggi dibandingkan emisi CO dan CO<sub>2</sub> mesin 2T generator listrik yang menggunakan pelumas mineral.
2. Mesin 2T generator listrik yang menggunakan pelumas mineral menghasilkan emisi gas HC 2703 ppmvol. Sedangkan penggunaan EFAMEGLI sebagai pelumas mesin 2T generator listrik menghasilkan emisi HC 16% lebih rendah dibandingkan emisi HC mesin 2T generator listrik yang menggunakan pelumas mineral.
3. Mesin 2T generator listrik yang menggunakan pelumas mineral menghasilkan emisi gas O<sub>2</sub> 1 % vol. Sedangkan penggunaan EFAMEGLI sebagai pelumas mesin 2T generator listrik menghasilkan emisi O<sub>2</sub> 95% lebih tinggi dibandingkan emisi O<sub>2</sub> mesin 2T generator listrik yang menggunakan pelumas mineral.
4. Mesin 2T generator listrik yang menggunakan pelumas mineral menghasilkan emisi gas NO<sub>x</sub> 43 ppmvol. Sedangkan penggunaan EFAMEGLI sebagai pelumas mesin 2T generator listrik menghasilkan emisi NO<sub>x</sub> 70% lebih rendah dibandingkan emisi NO<sub>x</sub> mesin 2T generator listrik yang menggunakan pelumas mineral.



5. EFAMEGLI dapat dijadikan minyak dasar pelumas mesin 2T karena selama pengujian sample, mesin tidak gagal beroperasi (mati) dan mesin menghasilkan emisi yang lebih bersih.

## 5.2 SARAN

Dilihat dari data energi pada beban 400 watt, tidak terdapat tren naik atau turun dengan bertambahnya konsentrasi EFAMEGLI didalam pelumas 2T, sehingga untuk penelitian selanjutnya harus dilakukan uji yang lebih lama dan pengambilan data yang banyak agar didapatkan data statistik yang lebih mendukung.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] N.Dormo, et.al.(2004).”Manufacture of an enviromental-safe biolubricant from fusel oil by enzymatic esterification in solvent-free system”. *Journal of Biochemical Engineering*, 21, 229-334. Diakses 11 Februari 2008 dari Sciencedirect.
- [2] H.H.Masjuki (1999).”Palm oil and mineral oil based lubricants-their tribological and emmision performance”. *Journal of Tribology International*, 32, 305-314. Diakses 14 Februari 2008 dari Sciencedirect.
- [3] Yunita Fenjery.”Pembuatan dan Karakterisasi EPOME Gliserol dan EPOME Monoalkohol sebagai Pelumas *Foodgrade*.” Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2006.
- [4] A.Caines, R. Haycook ,*Automotive Lubricants Reference Book* (Warrendale : Society of Automotive Engineers, Inc.,1996).
- [5] A.R. Lansdown, *Lubricant and Lubricant Selection* (London : Proffesional Engineering Publishing Limited,2004).
- [6] M.J. Neale, *Lubrication and Reability Handbook* (Boston : Butterworth Heinemann, 2001), hal.A2.1.
- [7] -,”*Buku Petunjuk Pengoperasian Mesin Generator Listrik (Model TG-1200)*”.
- [8] Azhar Abdul Aziz, Mohd.Farid Said, Mohamad Afiq Awang (2005).”Performance of palm oil-based biodiesel fuels in a single cylinder direct injection engine”.*Malaysian Palm Oil Board*,33,15-26.Diakses 28 Februari 2008.

## LAMPIRAN

### Lampiran 1 Hasil Trial Run pada Beban 400 Watt(1)

% EFAMEGLI	Set		Pengukuran						
	Beban	Wh Meter	Fuel Consuming time	Fuel used	CO	CO <sub>2</sub>	HC	O <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
	-	E	t	-	-	-	-	-	-
	Watt	Wh	min	ml	% vol	% vol	ppm vol	% vol	ppm vol
0	400	13	2.07.00	14	0.2	9.5	2854	16.5	110
25	400	15	2.16.00	14	0.21	10	2692	11.2	101
50	400	15	2.33.00	14	0.15	8.8	3302	13.9	92
75	400	Fail	1.50.00						
100	400	13	2.10.00	14	0.13	8.6	3314	2.25	87

### Lampiran 2 Hasil Trial Run pada Beban 700 Watt

% EFAMEGLI	Set		Pengukuran						
	Beban	Wh Meter	Fuel Consuming time	Fuel used	CO	CO <sub>2</sub>	HC	O <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
	-	E	t	-	-	-	-	-	-
	Watt	Wh	min	ml	% vol	% vol	ppm vol	% vol	ppm vol
0	700	544	53.43	500					
25	700	Fail	30.30						
50	700	Fail	28.33						
75	700	Fail	25.40						
100	700	Fail	20.18						

### Lampiran 3 Hasil Trial Run pada Beban 400 Watt (2)

% EFAMEGLI	Set		Pengukuran						
	Beban	Wh Meter	Fuel Consuming time	Fuel used	CO	CO <sub>2</sub>	HC	O <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
	-	E	t	-	-	-	-	-	-
	Watt	Wh	min	ml	% vol	% vol	ppm vol	% vol	Ppm vol
0	400	97	13:20	100	1,13	10,2	3261	1,1	131
25	400	94	13:16	100	0,69	10,5	3043	1,25	63
50	400	94	13:25	100	0,73	10,3	3127	1,32	65,5
75	400	92	12:51	100	0,28	10,6	2617	1,4	92
100	400	Fail	8:30						

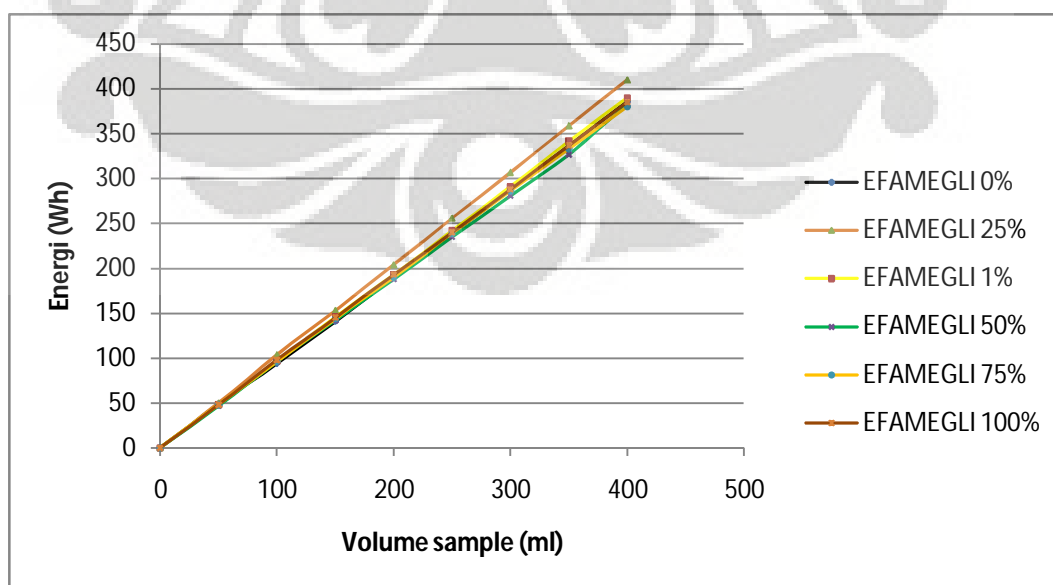
#### Lampiran 4 Hasil Trial Run pada Beban 200 Watt

% EFAMEGLI	Set		Pengukuran						
	Beban	Wh Meter	Fuel Consuming time	Fuel used	CO	CO <sub>2</sub>	HC	O <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
	-	E	t	-	-	-	-	-	-
	Watt	Wh	min	ml	% vol	% vol	ppm vol	% vol	ppm vol
0	200	136	46:50	510					
25	200	Fail	30.51						
50	200	Fail	29.31						
75	200	Fail	24.50						
100	200	Fail	18.51						

#### Lampiran 5 Hasil Pengujian Sample pada Beban 400 Watt

% EFAMEGLI	Set		Pengukuran						
	Beban	Wh Meter	Fuel Consuming time	Fuel used	CO	CO <sub>2</sub>	HC	O <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
	-	E	t	-	-	-	-	-	-
	Watt	Wh	hour	ml	% vol	% vol	ppm vol	% vol	ppm vol
0	400	386	1:04:43	400	0,48	9,6	2703	0,88	43
1	400	390	1:06:12	400	0,31	10,4	2698	1,15	53
25	400	410	1:06:58	400	0,23	10,6	2441	1,28	58
50	400	383	1:05:32	400	0,17	10,8	2429	1,32	63
75	400	380	1:03:20	400	0,22	10,2	2404	1,41	63
100	400	384	1:03:46	400	0,28	11,1	2274	1,72	73

#### Lampiran 6 Profil Energi pada Pengujian Sample pada Beban 400 Watt



**Lampiran 7** Hasil Analisa GCMS EFAMEGLI

<b>No.</b>	<b>Senyawa</b>	<b>BM (gr/mol)</b>	<b>Konsentrasi (%)</b>
1.	<i>Dodecanoic acid, methyl ester</i>	214	0,31
2.	<i>Tetradecanoate acid, methyl ester</i>	242	1,48
3.	<i>Hexadecanoic acid, methyl ester</i>	270	36,30
4.	<i>9, 12-Octadecadienoic acid (Z, Z), methyl ester</i>	296	3,23
5.	<i>9-Octadecanoic acid (Z), methyl ester</i>	296	18,81
6.	<i>Octadecanoic acid, methyl ester</i>	296	5,91
7.	<i>7,10-Octadecadienoic acid, methyl ester</i>	294	0,97
8.	<i>Ethyl Linoleate</i>	233	1,28
9.	<i>9, 12-Octadecadienoic acid (Z, Z), methyl ester</i>	296	2,06
10.	<i>Oxiraneoctanoic acid, 3-octyl-, methyl ester</i>	312	4,12
11.	<i>Heptadecanedioic acid, 9-oxo-, dimethyl ester</i>	284	2,05
12.	<i>Eicosanoic acid, methyl ester</i>	326	0,66
13.	<i>Dianisidine</i>	225	0,68
14.	<i>9-Octadecanoic acid, 12-hydroxy-, methyl ester,</i>	294	1,24
15.	<i>p-Flouro-3-nitrobenzoic acid</i>	230	1,61
16.	<i>Octadecanoic acid, 9, 10-dihydroxy, methyl</i>	298	12,77
17.	<i>Pyrrolidine, 1- (1-oxo-9-octadecyny 1)</i>	244	4,00
18.	<i>Silane, trimethyl [(2-methyl-1-methylane-2-</i>	222	2,51