



UNIVERSITAS INDONESIA

**FORMULASI DAN PENGUJIAN PELUMAS BIO 2T
BERBAHAN DASAR EPOXIED FATTY ACID METHYL
ESTERS (EFAME)**

SKRIPSI

**RANO INDRA PYP
0405060555**

**FAKULTAS TEKNIK
KEKHUSUSAN TEKNIK KIMIA
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
DEPOK
JULI 2009**



UNIVERSITAS INDONESIA

**FORMULASI DAN PENGUJIAN PELUMAS BIO 2T BERBAHAN
DASAR EPOXIED FATTY ACID METHYL ESTERS (EFAME)**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana.

**RANO INDRA PYP
0405060555**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
KEKHUSUSAN TEKNIK KIMIA
DEPOK
JULI 2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Rano Indra PYP
NPM : 0405060555
Tanda Tangan :

Tanggal : 26 Juni 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Rano Indra Pamungkas Yudi Putra
NPM : 0405060555
Program studi : Teknik Kimia
Judul skripsi : Formulasi dan Pengujian Pelumas Bio 2T Berbahan Dasar Epoxied Fatty Acid Methyl Esters (EFAME)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir Sukirno, MEng (.....)
Penguji : Prof. Dr. Ir. M. Nasikin, MEng (.....)
Penguji : Ir. Setiadi, MEng (.....)

Ditetapkan di : Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok.

Tanggal : 1 Juli 2009

KATA PENGANTAR/ UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas berkah, rahmat, dan izinnya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Skripsi yang berjudul “FORMULASI DAN PENGUJIAN PELUMAS BIO 2T BERBAHAN DASAR EPOXIED FATTY ACID METHYL ESTERS (EFAME)” bertujuan untuk memformulasikan dan menguji pelumas bio 2T yang memiliki performa energi dan ketahanan aus yang setara atau melebihi pelumas mineral komersial.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih sebesar-besarnya kepada :

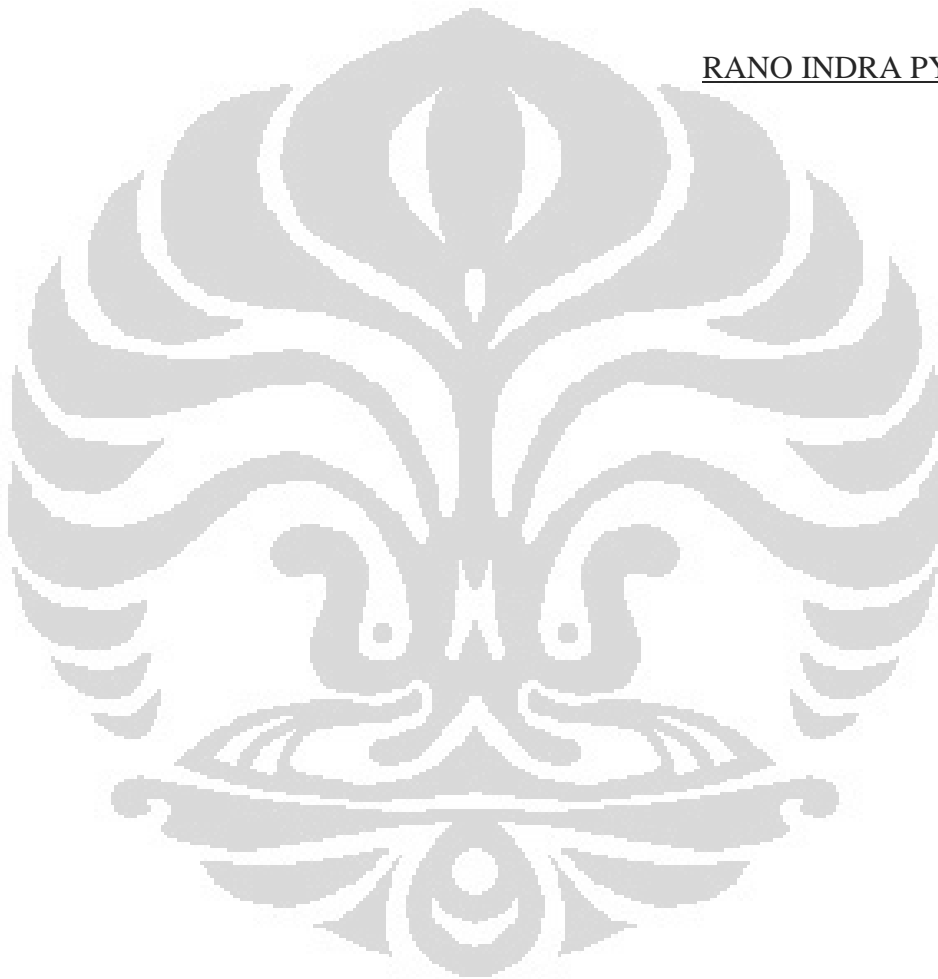
1. Allah SWT yang senantiasa memberikan kekuatan, kemudahan serta petunjuk-Nya kepada penulis.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Widodo Wahyu Purwanto, DEA selaku Kepala Departemen Teknik Kimia UI.
3. Bapak Ir. Sukirno, M.Eng, atas bimbingan, petunjuk, dan bantuan yang diberikan kepada penulis dalam penyusunan skripsi ini.
4. Keluargaku (Bapak dan Ibu) yang selalu memberi dukungan moril dan materil.
5. Adi, Andi, Romi, dan Wafa yang selalu menghibur dengan kisah dan sifat mereka.
6. Adlan, Lutfhi, Andres, Angga yang juga membantu penyusunan skripsi ini.
7. Teman-teman penelitian di Lab. POT (Wulan dan Monica) yang membuat suasana laboratorium menjadi tidak membosankan.
8. Mang Ijal yang sudah banyak membantu penulis dalam mempersiapkan peralatan dan bahan penelitian.
9. Pak Syarief dari DTM yang telah banyak membantu pelaksanaan pengujian di DTM.
10. Semua teman-teman GP 2005 yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang senantiasa membantu dan memberikan semangat bagi penulis.

Semoga semua dukungan tetap diberikan hingga akhir dan mendapat balasan yang lebih baik dari Allah SWT. Amien.

Depok, 26 Juni 2009

Penulis,

RANO INDRA PYP



HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Rano Indra Pamungkas Yudi Putra
NPM : 0405060555
Program studi : Teknik Kimia
Departemen : Teknik Kimia
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Non-eksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Formulasi dan Pengujian Pelumas Bio 2T Berbahan Dasar Epoxied Fatty Acid methyl Esters (EFAME)

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini, Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai pemilik/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 26 Juni 2009

Yang menyatakan

(Rano Indra PYP)

ABSTRAK

Nama : Rano Indra P
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Formulasi dan Pengujian Pelumas Bio 2T Berbahan Dasar
Epoxyed Fatty Acid Methyl Esters (EFAME)

Pelumas bio 2T dibuat menggunakan *Epoxyed Fatty Acid Methyl Esters* (EFAME) sebagai minyak dasar. EFAME kemudian diformulasikan dengan aditif anti aus dan tekanan ekstrim. Pengujian intensif mengenai output energi, emisi, dan ketahanan aus bagi EFAME tanpa aditif, EFAME terformulasi aditif, serta pelumas mineral komersial dilakukan. Pengujian energi dan emisi menggunakan genset 2T portabel Yamaha, ET 950 dan *gas analyzer*, sedangkan pengujian ketahanan aus menggunakan mesin pengujian *four ball*. Hasil menunjukkan EFAME terformulasi aditif menyebabkan output energi setara dengan pelumas mineral komersial sekaligus memiliki ketahanan aus yang jauh lebih, meskipun viskositas EFAME (pada 40°C, 6.7184 cSt dan pada 100°C, 3.0151) lebih rendah daripada pelumas mineral komersial (pada 40°C, 96.2928 cSt dan pada 100°C, 11.0032). EFAME tanpa aditif menunjukkan hasil emisi pembakaran yang lebih sempurna dari pelumas mineral komersial, namun penambahan aditif tidak memperbaiki emisi yang dihasilkan EFAME.

Kata kunci :

Pelumas 2T, Pelumas Bio, Minyak dasar, EFAME, Aditif pelumas, Energi, Emisi, Aus.

ABSTRACT

Name : Rano Indra P
Study Program : Chemical Engineering
Title : Formulation and Testing of 2T Biolubricant from Epoxied fatty Acid methyl Esters (EFAME) as the Base Oil

2T Biolubricant was made using Epoxied Fatty Acid Methyl Esters (EFAME) as the base oil. Then EFAME was formulated with anti wear and extreme pressure additives. A comparative study of energy output, emissions and wear resistance was carried out on EFAME with and without additives, and a mineral oil-based commercial lubricant. The energy and emissions test was conducted using a two-stroke gasoline Yamaha portable generator set, ET 950 and gas analyzer, while the wear test using a four ball wear machine. The results showed that EFAME formulated with additives caused an equal energy output and much better wear resistance than mineral oil-based commercial lubricant, even though EFAME's viscosities (at 40°C, 6.7184 cSt and at 100°C, 3.0151 cSt) is lower than mineral oil-based commercial lubricant (at 40°C, 96.2928 cSt and at 100°C, 11.0032 cSt). EFAME without additives proved to have better combustion emissions than mineral oil-based commercial lubricant, but additives proved not to repair EFAME'S emission level.

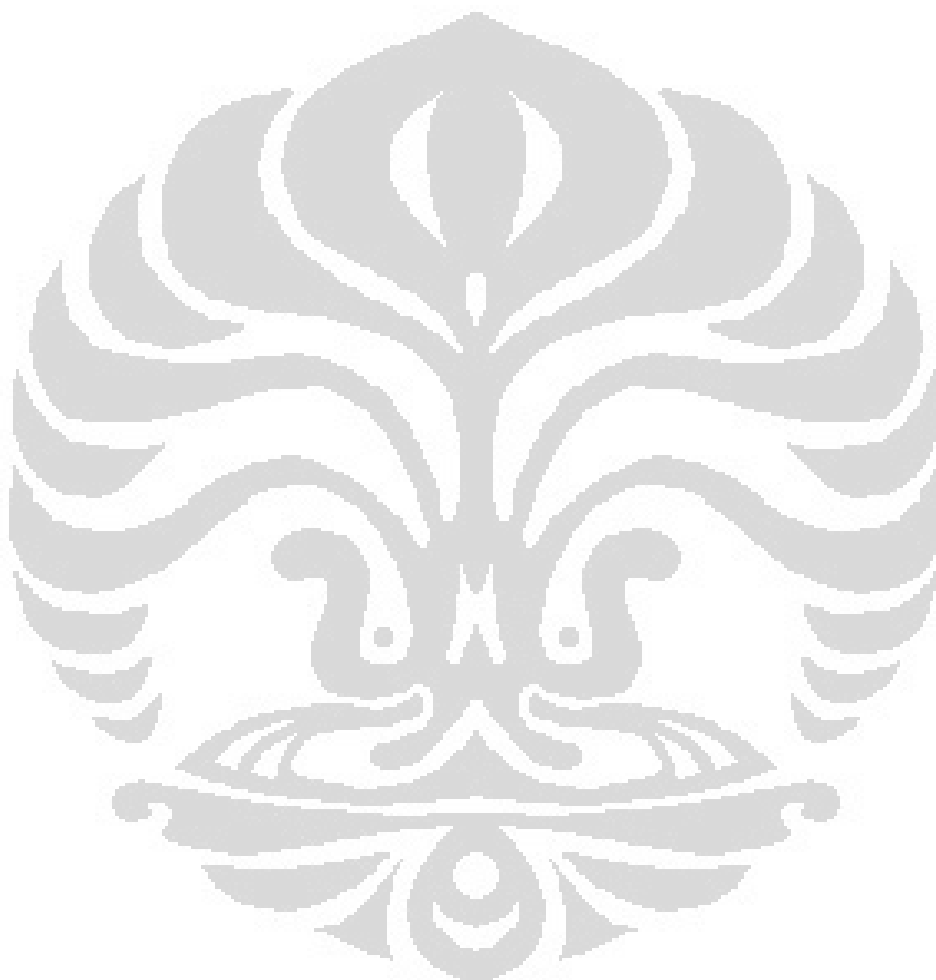
Keywords :

2T Lubricant, Biolubricant, Base Oil, EFAME, Lubricant additive, Energy, Emission, Wear.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Batasan Masalah.....	4
1.5. Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Pelumas	6
2.1.1 Pengertian Pelumasan	6
2.1.2 Fungsi Pelumas	10
2.1.3 Sifat Pelumas.....	11
2.1.4 Komponen pelumas.....	14
2.1.4.1. Bahan Dasar <i>Base Oil</i>	14
2.1.4.2. Aditif Pelumas	19
2.2 Bahan Pelumas dari Minyak Sawit	24
2.2.1 Biopelumas.....	24
2.2.2 Minyak Sawit	25
2.2.3 EFAME	25
2.2.3.1 Transesterifikasi	27
2.2.3.2. Epoksida dan Reaksi Epoksidasi.....	28
2.2.3.3. Reaksi Substitusi Epoksida	30
2.2.4 Pengaruh pelumas Nabati terhadap Friksi dan Emisi Gas	30
2.3 Pelumasan dan Pelumas 2T.....	33
2.3.1 Pelumasan Mesin 4-Tak dan 2T.....	33
2.3.2 Pelumas 2T.....	34
2.3.2 Perkembangan Penelitian Pelumas Nabati 2T	35
2.4 Uji Unjuk Kerja Pelumas 2T.....	36
2.4.1 Uji Performansi Mesin	36
2.4.2 Uji <i>Four Ball</i>	37
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	38
3.1 Diagram Alir Penelitian	38
3.2 Alat Pengujian.....	38
3.3 Penyiapan Sampel	41

3.4	Variabel Penelitian	41
3.5	Prosedur Pengujian	42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		45
4.1	Hasil pengujian EFAME tanpa formulasi aditif.....	45
4.2	Hasil pengujian EFAME + aditif Fosfor.....	50
4.3	Hasil pengujian EFAME + aditif AP - 2387	54
4.4	Hasil pengujian EFAME + aditif Sulfur	59
4.5	Hasil pengujian Four Ball	63
5. KESIMPULAN DAN SARAN		66
DAFTAR PUSTAKA		67



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Perbandingan Sifat-sifat Tipe Pelumas Dasar.....	9
Tabel 2. 2. Karakteristik pelumasan beberapa senyawa hidrokarbon	15
Tabel 2. 3. Contoh aditif anti oksidan	21
Tabel 2. 4. Contoh Aditif Anti Aus	23
Tabel 2. 5. Contoh Aditif Inhibitor Karat dan Korosi	24
Tabel 2. 6. Kandungan Trigliserida Berdasar Asam Lemak dari Beberapa Minyak dan Lemak	26
Tabel 2. 7. Sifat Fisik Senyawa-senyawa Hasil Transesterifikasi.....	27
Tabel 2. 8. Data titik didih normal molekul pelumas mineral (parafinik, naften, aromatic) serta molekul pelumas nabati (ester) pada jumlah C yang sama.....	33
Tabel 3. 1. Spesifikasi Mesin Generator Yamaha ET-950.....	39
Tabel 4. 1. Data hasil pengujian <i>four ball</i> EFAME, EFAME + berbagai aditif, dan ENVIRO 2T	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Efek aditif viscosity modifier pada pelumas (a) pada temperature rendah dan (b) pada temperature tinggi.....	21
Gambar 2. 2	Struktur Molekul Trigliserida.....	25
Gambar 2. 3	Reaksi Transesterifikasi Trigliserida dengan Metanol	27
Gambar 2. 4	Mekanisme Reaksi Epoksidasi	29
Gambar 2. 5	Mekanisme Reaksi Epoksidasi Ester.....	29
Gambar 2. 6	Mekanisme Hidrolisis Epoksida.....	30
Gambar 2. 7	Struktur Oksirana (Etilena Oksida)	30
Gambar 2. 8	Reaksi Pemaksapisahan Berkatalis Basa	31
Gambar 2. 9	Reaksi Pemaksapisahan Berkatalis Asam	31
Gambar 2.10	Adsorpsi Alkohol Rantai Panjang pada Permukaan Logam	32
Gambar 3. 1	Diagram Alir Penelitian.....	38
Gambar 3. 2	Skema alat pengujian energi dan emisi pelumas.....	39
Gambar 3. 3	Skema alat pengujian <i>four ball</i>	40
Gambar 4. 1	Grafik perbandingan energi pelumas EFAME tanpa formulasi aditif dan Enviro 2T	45
Gambar 4. 2	Grafik perbandingan emisi CO pelumas EFAME tanpa formulasi aditif dan Enviro 2T	47
Gambar 4. 3	Grafik perbandingan emisi CO ₂ pelumas EFAME tanpa formulasi aditif dan Enviro 2T	48
Gambar 4. 4	Grafik perbandingan emisi O ₂ pelumas EFAME tanpa formulasi aditif dan Enviro 2T	48
Gambar 4. 5	Grafik perbandingan emisi HC pelumas EFAME tanpa formulasi aditif dan Enviro 2T	49
Gambar 4. 6	Grafik perbandingan emisi NO _x pelumas EFAME tanpa formulasi aditif dan Enviro 2T	49
Gambar 4. 7	Grafik perbandingan energi pelumas EFAME + aditif Fosfor dan Enviro 2T	51
Gambar 4. 8	Struktur TCP.....	51
Gambar 4. 9	Grafik perbandingan emisi CO pelumas EFAME + aditif Fosfor dan Enviro 2T	52
Gambar 4. 10	Grafik perbandingan emisi CO ₂ pelumas EFAME + aditif Fosfor dan Enviro 2T	53
Gambar 4. 11	Grafik perbandingan emisi O ₂ pelumas EFAME + aditif Fosfor dan Enviro 2T	53
Gambar 4. 12	Grafik perbandingan emisi HC pelumas EFAME + aditif Fosfor dan Enviro 2T	53
Gambar 4. 13	Grafik perbandingan emisi NO _x pelumas EFAME + aditif Fosfor dan Enviro 2T	54
Gambar 4. 14	Grafik perbandingan energi pelumas EFAME + aditif AP-2387 dan Enviro 2T	55
Gambar 4. 15	Struktur sulfurized hydrocarbons	55

Gambar 4. 16	Grafik perbandingan emisi CO pelumas EFAME + aditif AP-2387 dan Enviro 2T	56
Gambar 4. 17	Grafik perbandingan emisi CO ₂ pelumas EFAME + aditif AP-2387 dan Enviro 2T	57
Gambar 4. 18	Grafik perbandingan emisi O ₂ pelumas EFAME + aditif AP-2387 dan Enviro 2T	57
Gambar 4. 19	Grafik perbandingan emisi HC pelumas EFAME + aditif AP-2387 dan Enviro 2T	57
Gambar 4. 20	Grafik perbandingan emisi NO _x pelumas EFAME + aditif AP-2387 dan Enviro 2T	58
Gambar 4. 21	Grafik perbandingan energi pelumas EFAME + aditif Sulfur dan Enviro 2T	59
Gambar 4. 22	Gambar struktur <i>sulfurized fatty acid ester</i>	59
Gambar 4. 23	Grafik perbandingan emisi CO pelumas EFAME + aditif Sulfur dan Enviro 2T	61
Gambar 4. 24	Grafik perbandingan emisi CO ₂ pelumas EFAME + aditif Sulfur dan Enviro 2T	61
Gambar 4. 25	Grafik perbandingan emisi O ₂ pelumas EFAME + aditif Sulfur dan Enviro 2T	62
Gambar 4. 26	Grafik perbandingan emisi HC pelumas EFAME + aditif Sulfur dan Enviro 2T	62
Gambar 4. 27	Grafik perbandingan emisi NO _x pelumas EFAME + aditif Sulfur dan Enviro 2T	63
Gambar 4. 28	Grafik perbandingan ketahanan aus pelumas EFAME + berbagai aditif	65

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Kebutuhan akan minyak pelumas bagi suatu mesin merupakan suatu kebutuhan primer. Tanpa adanya pelumas, kerja mesin menjadi lebih berat, tidak efisien dan usia mesin menjadi lebih pendek. Pelumas selain bermanfaat untuk mereduksi friksi dan keausan, kini juga bermanfaat sebagai agen pendingin, anti korosi bagi permukaan mesin, dan beragam fungsi penting lainnya.

Pelumas yang banyak beredar di pasaran saat ini, terbuat dari bahan dasar minyak mineral (minyak bumi). Tetapi, pelumas mineral kini tengah mengalami masalah serius akibat efek lingkungan yang disebabkan karena pencemaran oleh pelumas mineral. Tingginya tingkat *ecotoxicity* (toksisitas bagi lingkungan) dan rendahnya tingkat *biodegradability* (kemampuan didegradasi oleh lingkungan) pada pelumas mineral menyebabkan tingkat pencemaran lingkungan yang terjadi khususnya oleh pelumas mineral yang terbuang maupun pelumas sisa yang dibuang ke lingkungan menjadi sangat berbahaya (Sumarsono, 2007).

Salah satu permasalahan lingkungan serius terkait pelumas selalu melibatkan pelumas 2T. Pelumas 2T merupakan pelumas yang digunakan pada mesin-mesin 2T. Pelumas 2T yang banyak beredar di pasaran masa kini juga terbuat dari minyak mineral. Keluhan terutama datang dari banyaknya sisa pelumas yang tercecer serta bau dan tebalnya asap yang dihasilkan dari pembakaran mesin. Padahal mesin 2T memiliki kelebihan dibanding mesin 4T, seperti desainnya yang sederhana, ringan, mampu menghasilkan energi lebih banyak dalam satu revolusi daripada 4T, dan lebih murah.

Pelumas dapat pula dibuat dari bahan dasar minyak tumbuh-tumbuhan atau sering disebut juga pelumas nabati. Pelumas nabati memiliki daya lumas yang sangat baik dan dapat merekat lebih baik pada bidang-bidang basah dan lembab

sekalipun dibanding minyak mineral (Fenjery,2006). Serta karena berasal dari sumber nabati, pelumas nabati bersifat terbarukan (*renewable*), memiliki tingkat *ecotoxicity* yang rendah dan tingkat *biodegradability* yang tinggi sehingga aman bagi lingkungan (Mercurio,2006).

Penelitian mengenai pembuatan pelumas nabati 2T telah dilakukan antara lain oleh G.A.Sivasankaran (1988), H.H. Masjuki (1999), dan N.H.Jayadas (2006). Penelitian oleh G.A.Sivasankaran (1988) bertemakan pembuatan pelumas nabati 2T dari minyak jojoba. Penelitiannya berhasil membuktikan bahwa minyak jojoba memiliki ketahanan aus yang lebih baik dari pelumas mineral dan memiliki unjuk kerja yang serupa dengan pelumas mineral (Sivasankaran,1988). Penelitian oleh H.H. Masjuki (1999) bertemakan pelumas 2T kelapa sawit POME. Penelitiannya berhasil menunjukkan bahwa pelumas nabati kelapa sawit POME memiliki ketahanan aus lebih baik daripada pelumas mineral komersil, serta menghasilkan emisi CO dan HC yang lebih rendah daripada pelumas mineral komersil. Kemudian penelitian oleh N.H.Jayadas (2006) yang bertemakan pelumas berbahan dasar kelapa terformulasi aditif, berhasil menunjukkan bahwa pelumas kelapa terformulasi aditif menunjukkan ketahanan aus lebih baik daripada pelumas mineral.

Sementara itu, Indonesia sebagai negara tropis menyimpan potensi sumber daya alam yang sangat besar. Indonesia merupakan negara penghasil kelapa sawit terbesar di dunia sejak tahun 2006. Pada tahun 2007, Indonesia memproduksi 17,3 juta ton minyak kelapa sawit dari lahan seluas 6.3 juta ha. Penggunaan minyak sawit sebagai bahan dasar pelumas selain mampu meningkatkan nilai tambah minyak sawit juga mampu menambah potensi devisa Indonesia. Diperkirakan produksi kelapa sawit Indonesia tahun 2008 mencapai 44.26% produksi kelapa sawit dunia (Hamzirwan,2008).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh H.H.Masjuki dan tingginya jumlah sumber daya kelapa sawit Indonesia, maka penelitian ini akan menggunakan *base oil* EFAME yang terbuat dari kelapa sawit. EFAME dipilih karena FAME (POME) masih mengandung banyak ikatan rangkap yang bila tidak dikurangi, dikhawatirkan dapat menyebabkan pelumas cepat teroksidasi dan terpolimerisasi membentuk deposit. Serta gugus epoksida yang

terbentuk diharapkan dapat menambah sifat kepolaran *base oil* (minyak dasar) sehingga pelumas menjadi lebih kuat teradsorpsi pada permukaan logam.

Pada penelitian topik ini, EFAME diformulasi dengan aditif pelumas (*lubricants additive*) akan digunakan sebagai pelumas nabati 2T. Diharapkan, pelumas 2T yang dihasilkan, selain bersifat *biodegradable* juga memiliki ketahanan aus yang baik dan mampu membawa pengaruh yang baik pada unjuk kerja mesin 2T seperti daya mesin yang tinggi, konsumsi bahan bakar yang minimal, serta komposisi gas buang yang lebih ramah lingkungan. Penambahan aditif diharapkan dapat membawa penurunan keausan pada pelumas EFAME dan peningkatan unjuk kerja EFAME.

Pelumas 2T yang dihasilkan akan mengalami dua pengujian. Pengujian *four ball test* untuk mengetahui ketahanan aus pelumas serta pengujian unjuk kerja/performa pelumas terhadap energi yang dihasilkan, konsumsi bahan bakar, serta komposisi gas buang, menggunakan generator listrik 2T Yamaha ET-950.

Aditif yang digunakan bervariasi jenis dan komposisi (% volume). Jenis aditif yang digunakan antara lain aditif anti aus (*anti wear/AW*) komersial berbasis Fosfor, aditif tekanan ekstrim (*extreme pressure/EP*) komersial berbasis Sulfur, serta aditif PERTAMINA AP-2387 berisi aditif tekanan ekstrim. % Komposisi aditif yang digunakan adalah sebesar 0.5 %, 1 %, dan 2 %. Penentuan jumlah persentase (%) volume aditif yang ditambahkan tersebut berdasarkan laporan bahwa konsentrasi optimum aditif pelumas adalah sekitar 2% (Jayadas,2007). Daya yang diuji adalah pada 300 Watt. Δ Bahan bakar yang digunakan adalah 800 mL.

1.2 RUMUSAN PERMASALAHAN

Secara garis besar, permasalahan yang melatar belakangi penelitian ini adalah:

1. Bagaimana unjuk kerja pelumas bio 2T berbahan dasar EFAME yang diformulasikan dengan aditif
2. Bagaimana sifat ketahanan aus pelumas bio 2T berbahan dasar EFAME yang diformulasikan dengan aditif

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah memformulasikan dan menguji efek pelumasan EFAME meliputi konsumsi bahan bakar, energi mesin yang dihasilkan, emisi gas buang, dan ketahanan aus pelumas.

1.4 BATASAN MASALAH

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

1. Bahan dasar pelumas yang digunakan adalah EFAME.
2. EFAME yang digunakan merupakan hasil penelitian yang telah dilakukan di Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia.
3. Aditif yang digunakan adalah aditif anti aus (*anti wear/AW*) komersial berbasis Fosfor, aditif tekanan ekstrim (*extreme pressure/EP*) komersial berbasis Sulfur, serta aditif PERTAMINA AP-2387 berisi aditif tekanan ekstrim.
4. Pengaruh unjuk kerja pelumas akan diuji melalui:
 - Uji daya mesin
 - Uji konsumsi bahan bakar
 - Komposisi gas buang

1.5 SISTEMATIKA PENULISAN

Metode penulisan yang digunakan dalam studi ini adalah dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Terdiri dari latar belakang, rumusan permasalahan, tujuan, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tinjauan pustaka dan teori-teori tentang pelumas, minyak sawit (*Crude Palm Oil*), transesterifikasi, epoksidasi, ring opening, mesin 4-tak dan 2T, perbedaan pelumasan mesin 4-tak dan 2T, pelumas 2T.

BAB III : METODE PENELITIAN

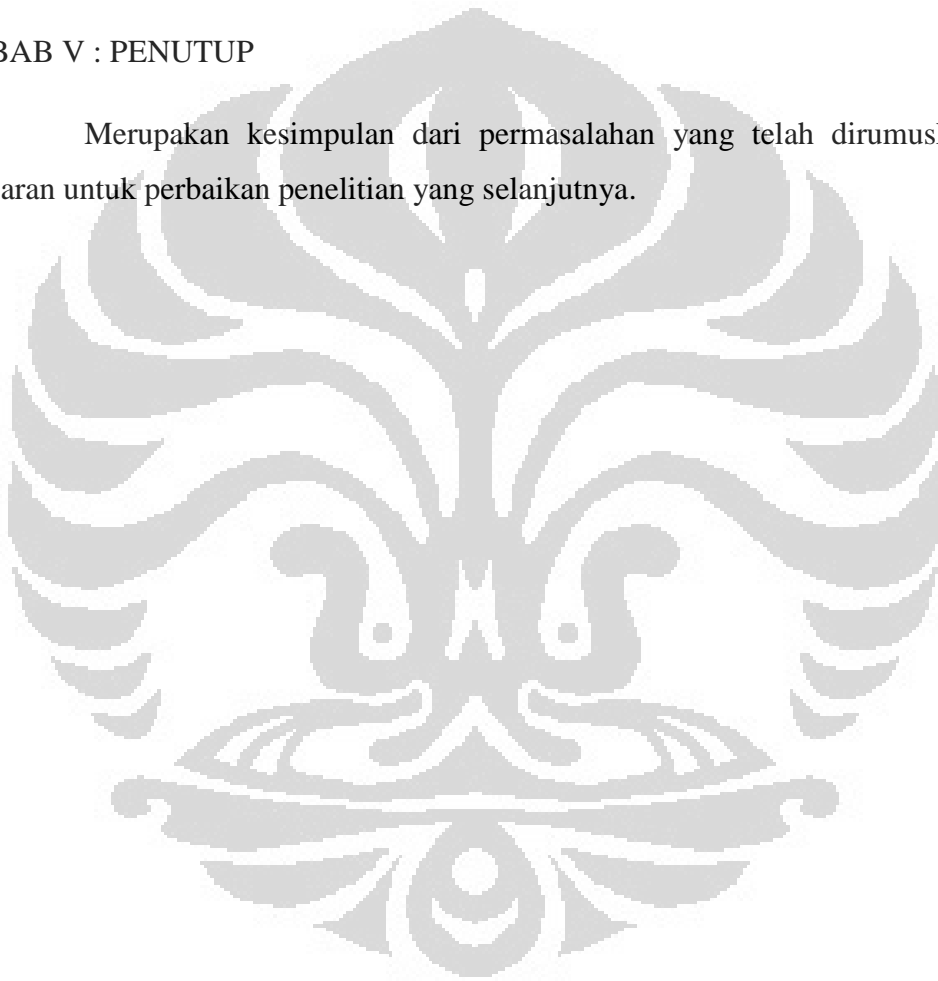
Menampilkan gambaran umum mengenai langkah-langkah, prosedur penelitian, dan proses pengambilan data.

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

2.1.1. Pengertian Pelumasan

Ketika suatu permukaan bergerak terhadap permukaan lainnya, selalu ada resistansi terhadap gerakan tersebut. Kekuatan resistansi terhadap gerakan tersebut disebut friksi. Bila friksi tersebut rendah dan *steady*, akan terdapat pergeseran yang halus dan mudah. Namun friksi juga dapat begitu hebat, sehingga pergerakan menjadi tidak memungkinkan dan permukaan menjadi terlalu panas atau mengalami kerusakan serius (Landsdown, 1982).

Pelumasan secara sederhana merupakan penggunaan suatu material untuk meningkatkan kehalusan (*smoothness*) gerakan suatu permukaan terhadap permukaan yang lain. Material yang digunakan untuk pelumasan ini disebut pelumas. Pelumas umumnya berfasa cair atau semi-cair, namun dapat pula berfasa padat atau gas atau kombinasi dari padat, cair, dan gas.

Pelumas yang banyak beredar di pasaran memiliki begitu banyak varian. Jenis-jenis pelumas dapat dibedakan penggolongannya menjadi berdasarkan bahan dasar penyusunnya, tujuan penggunaannya, serta bentuk fisiknya.

✓ Pelumas berdasarkan bahan dasar penyusunnya, dapat terbagi menjadi tiga macam, yaitu:

1. Pelumas mineral.

Pelumas mineral memiliki komponen penyusun dasar berupa minyak mineral (minyak bumi). Pelumas tipe ini berkembang setelah era industri pengolahan minyak bumi berkembang pesat.

2. Pelumas sintesis.

Pelumas sintesis memiliki komponen penyusun dasar berupa minyak sintesis. Minyak sintesis merupakan minyak yang dibuat melalui sintesis kimiawi dengan memadukan senyawa-senyawa yang memiliki berat molekul yang rendah dan memiliki viskositas yang memenuhi syarat untuk digunakan bahan dasar pelumas.

3. Pelumas natural.

Pelumas natural memiliki komponen penyusun dasar berupa lemak hewan atau minyak tumbuh-tumbuhan. Pelumas tipe ini sesungguhnya merupakan pelumas yang pertama kali dikenal oleh manusia. Pelumas yang berbahan dasar lemak hewan atau minyak tumbuh-tumbuhan ini seringkali disebut biopelumas.

- ✓ Pelumas berdasarkan tujuan penggunaannya, dapat terbagi menjadi empat macam, yaitu:

1. Pelumas otomotif.

Pelumas otomotif merupakan pelumas yang digunakan bagi kendaraan bermotor. Secara sederhana, pelumas tipe ini dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu:

- Pelumas 2T.

Pelumas 2T merupakan pelumas yang digunakan pada mesin-mesin berdesain 2T (2 langkah). Karena pengaruh desain mesin 2T, maka pelumas tipe ini dicampurkan bersama-sama bahan bakar dengan rasio (bahan bakar terhadap pelumas) sebesar 25 : 1 hingga 100 : 1.

- Pelumas 4-tak.

Pelumas 4-tak merupakan pelumas yang digunakan pada mesin-mesin berdesain 4-tak (4 langkah). Berbeda dengan pelumas 2T, pelumas 4-tak tidak dicampurkan bersama bahan bakar ke dalam mesin untuk melumasi peralatan.

2. Pelumas industri.

Pelumas industri merupakan pelumas yang digunakan pada kegiatan-kegiatan proses industri. Terdapat banyak tipe pelumas industri di pasaran. Namun secara garis besar, pelumas industri lebih sederhana dibanding pelumas otomotif. Pelumas industri tidak mengalami perubahan yang cukup berarti baik dari segi kualitas maupun formulasi seperti pelumas otomotif. Serta pelumas industri umumnya memiliki periode penggunaan yang lebih lama dibanding pelumas otomotif.

3. Pelumas perkapalan.

Pelumas perkapalan merupakan pelumas yang didesain khusus untuk keperluan mesin-mesin kapal layar.

4. Pelumas penerbangan.

Pelumas penerbangan merupakan pelumas yang didesain khusus untuk keperluan mesin-mesin kapal terbang, termasuk kapal ulang alik atau luar angkasa.

✓ Pelumas berdasarkan fasanya, dapat terbagi menjadi empat tipe dasar, antara lain:

1. Pelumas minyak.

Istilah umum yang meliputi seluruh pelumas berfasa cair, baik pelumas yang berasal dari minyak mineral, minyak natural, maupun sintetik.

2. Gemuk (*grease*).

Secara teknis gemuk merupakan pelumas minyak yang mengandung agen penggemuk (*thickening agent*) sehingga menyebabkannya bersifat semi-padat.

3. Pelumas kering.

Meliputi semua pelumas yang digunakan dalam bentuk padat. Dapat berupa bongkahan padatan, pelapis serupa cat, atau bubuk.

4. Gas.

Gas umumnya digunakan pada bantalan poros gas di udara. Setiap jenis gas dapat digunakan sebagai pelumas, asalkan tidak menyerang pantalan poros, atau terdekomposisi sendiri.

Keuntungan dan kekurangan pelumas minyak berasal dari kemampuannya untuk mengalir dengan mudah. Pelumas minyak sangat mudah dituang dari kontainernya, mengarahkannya ke bantalan poros dengan penetes, pencipratan, atau pemompaan, serta mengeluarkannya dari mesin ketika tidak diperlukan lagi. Hal terpenting adalah, dengan desain yang tepat, bantalan poros dapat mengarahkan pelumas ke zona beban dengan sendirinya. Namun, kekurangan pelumas minyak adalah mudahnya pelumas minyak untuk lepas dari bantalan

poros, bocor dari container atau mesin, pindah ke permukaan yang lain, dan bahkan terevaporasi bila bantalan poros terlalu panas dan terventilasi dengan baik, Serta, karena fasanya yang cair pelumas minyak tidak membentuk segel yang baik terhadap kotoran ataupun kelembaban yang masuk ke bantalan poros.

Gemuk (*grease*) bersifat seperti pelumas minyak dalam banyak hal. Namun gemuk digunakan ketika sifat kekurangan mudah mengalir pelumas minyak dirasa lebih besar dibanding keuntungannya, Sehingga, gemuk tidak mudah bocor dari mesin atau container, atau lepas dari bantalan poros, serta membantuk segel yang efektif terhadap kontaminan. Di sisi lain, gemuk lebih sulit diarahkan kedalam bantalan poros, serta hampir tidak berfungsi sebagai pendingin.

Keuntungan dan kerugian pelumas padat hampir serupa dengan pelumas gemuk (*grease*) yaitu pelumas tidak akan mengalir sama sekali. Serupa dengannya, pelumas gas memiliki keuntungan dan kerugian seperti pelumas minyak, dimana sifat mudah mengalirnya terlalu baik. Pelumas padat dan pelumas gas memiliki keuntungan dan kerugian tertentu dan hanya digunakan pada situasi tertentu. Tabel berikut menggambarkan

Tabel 2. 1. Perbandingan Sifat-sifat Tipe Pelumas Dasar

Sifat Pelumas	Pelumas Minyak	Gemuk (<i>grease</i>)	Pelumas kering (padat)	Gas
Pelumasan hidrodinamik	Sangat baik	Sedang	Nol	Baik
Pelumasan batas	Buruk hingga Sangat baik	Baik hingga Sangat baik	Baik hingga Sangat baik	Umumnya Buruk
Pendinginan	Sangat baik	Buruk	Nol	Sedang
Rendah friksi	Sedang hingga Baik	Sedang	Buruk	Sangat Baik
Kemudahan diarahkan ke bantalan poros	Baik	Sedang	Buruk	Baik
Kemampuan untuk bertahan pada bantalan poros	Buruk	Baik	Sangat Baik	Sangat Baik
Kemampuan untuk menyegel terhadap kontaminan	Buruk	Sangat Baik	Sedang hingga Baik	Sangat Buruk
Perlindungan terhadap korosi atmosferik	Sedang hingga Sangat baik	Baik hingga Sangat baik	Buruk hingga Baik	Buruk

Jangkauan temperatur	Sedang hingga Sangat baik	Baik	Sangat Baik	Sangat Baik
Volatilitas	Sangat tinggi hingga rendah	Umumnya Rendah	Rendah	Sangat Tinggi
Mampu bakar	Sangat tinggi hingga sangat rendah	Umumnya Rendah	Umumnya Rendah	Bergantung Tipe Gas
Kompatibilitas	Sangat buruk hingga Sedang	Sedang	Sangat Baik	Umumnya Baik
Biaya pelumas	Rendah hingga Tinggi	Cukup Tinggi	Cukup Tinggi	Umumnya Sangat Rendah
Kompleksitas desain bantalan poros	Cukup Rendah	Cukup rendah	Rendah hingga Tinggi	Sangat Tinggi
Umur ditentukan oleh	Kerusakan dan Kontaminasi	Kerusakan	Aus	Kemampuan untuk mempertahankan suplai gas

(sumber : Landsdown, 1982)

2.1.2. Fungsi Pelumas

Fungsi dasar pelumas tentunya adalah untuk mereduksi friksi dan mencegah keausan. Namun dalam perkembangannya, pelumas juga berperan dalam memenuhi tugas-tugas lain yang sama pentingnya bagi operasi peralatan tempatnya bekerja. Berikut merupakan fungsi-fungsi pelumas masa kini ^[2]:

1. Mereduksi friksi : Pelumas mereduksi kebutuhan energi untuk mengoperasikan mekanisme peralatan serta mereduksi pembangkitan panas lokal.
2. Mereduksi aus : Pelumas memungkinkan pemisahan dua permukaan kerja sehingga mengurangi resiko aus, memperpanjang usia peralatan, dan meningkatkan efisiensi.
3. Pendingin : Efek pendinginan suatu pelumas datang dari dua arah. Mereduksi friksi akan mereduksi panas yang dihasilkan dalam bantalan poros. Dalam hal ini, material apapun baik cair, padat, maupun gas, yang mereduksi friksi akan bertindak pula sebagai pendingin.

Seringkali efek pendinginan dihasilkan dengan memindahkan kelebihan panas dari satu bagian sistem dan mentransfernya ke beberapa bagian lain yang dapat membuangnya ke udara luar atau ke bagian sistem pendingin

yang terpisah. Untuk tujuan ini faktor-faktor yang penting adalah panas spesifik dari pelumas serta laju alirnya. Pelumas cair adalah pendingin yang lebih baik dari gas karena panas spesifiknya yang lebih tinggi, dan gemuk (*grease*) serta pelumas padat kurang efektif bertindak sebagai pendingin karena sifatnya yang sukar mengalir.

4. Anti korosi : Pelumas harus dapat melindungi peralatan dari zat-zat asam yang berasal dari sisa-sisa degradasi pelumas itu sendiri maupun kontaminasi pembakaran. Pelumas juga harus melindungi peralatan dari lingkungan yang lembap dan kurangnya penggunaan mesin, yang dapat menyebabkan pengkaratan komponen-komponen peralatan khususnya yang terbuat dari besi.
5. Agen pembersih : Pelumas harus mencegah kerusakan bagian-bagian mesin karena produk degradasinya sendiri atau oleh kontaminasi pembakaran. Deposit, yang umumnya dibedakan oleh istilah deskriptif seperti “karbon padat”, dapat bercampur dengan operasi peralatan yang telah efisien. Dalam kasus ekstrim, cincin piston dapat menjadi macet, dan aliran pelumas menjadi tertutup, bila pelumas tidak mampu mengatasi masalah ini. Pencegah deposit serta pelarutan kontaminan termasuk dalam fungsi pelumas ini.
6. Penyegel : Pelumas harus berperan dalam pembentukan segel antara piston dan silinder (piston dengan cincin piston, serta cincin piston dengan dinding silinder).

2.1.3. Sifat Pelumas

Sifat-sifat pelumas terkadang ditentukan oleh peralatan dan kondisi tempat pelumas tersebut bekerja. Suatu pelumas yang baik harus memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

1. Memiliki viskositas yang sesuai.

Viskositas adalah suatu ukuran sifat alir fluida di bawah keadaan gravitasi, atau ukuran dari besar tahanan yang diberikan oleh pelumas untuk mengalir. Viskositas pelumas artinya ukuran kekentalan pelumas. Viskositas pelumas yang sesuai artinya, suatu pelumas tersebut tidak boleh

terlalu encer maupun terlalu kental. Pelumas yang terlalu encer memperbolehkan terjadinya kontak antara permukaan logam sehingga menimbulkan keausan, serta meningkatkan kebocoran pelumas. Sedangkan pelumas yang terlalu kental juga menyia-nyiakan tenaga, serta dalam mesin, dapat menimbulkan kesulitan saat pertama berjalan.

2. Indeks viskositas yang tinggi.

Indeks viskositas menyatakan kemampuan suatu pelumas dalam mempertahankan viskositasnya karena perubahan temperature. Suatu zat cair umumnya akan mengalami perubahan sifat viskositas akibat perubahan temperature. Peningkatan temperature akan menurunkan viskositas zat.

Pelumas yang baik hendaknya memiliki indeks viskositas yang tinggi. Pelumas bekerja pada berbagai jenis peralatan dan kondisi kerja peralatan. Hal ini berarti suatu pelumas tidak boleh menipis saat kondisi terlalu panas juga tidak boleh menebal saat kondisi terlalu dingin.

3. Volatilitas yang rendah.

Volatilitas merupakan sifat kemudahan untuk menguap. Volatilitas pelumas yang tinggi menyebabkan hilangnya pelumas (konsumsi pelumas yang tinggi) karena pendidihan konstituen yang lebih ringan, sehingga lama kelamaan kontak antara permukaan dapat terjadi dan menimbulkan terjadinya keausan. Serta volatilitas pelumas yang tinggi juga dapat mengganggu kinerja mesin karena menyebabkan timbulnya deposit.

4. *Pour point* yang rendah

Pour point menunjukkan titik (temperature) terendah dimana pelumas masih dapat dituang (mengalir). Bila *pour point* suatu material rendah maka pada temperature rendah material berwujud cair dapat dituang/mengalir. Sehingga, pelumas ber-*pour point* rendah berarti pelumas tersebut dapat berfungsi dengan baik meskipun kondisi dingin dan pada kondisi mesin akan dihidupkan.

5. Tidak terlalu membusa saat bekerja.

Saat bekerja, pelumas dapat membentuk busa. Bila suatu pelumas membusa terlalu banyak, hal ini dapat menyebabkan hilangnya sifat-sifat pelumasan pada pelumas, serta hilangnya pelumas itu sendiri pada mesin.

6. Stabil terhadap oksidasi atau reaksi kimia.

Pelumas mesin merupakan subyek bagi temperature tinggi dan kontaminasi asam serta bahan kimia lainnya. Suatu pelumas harus resisten terhadap zat-zat tersebut agar dapat mempertahankan sifat-sifatnya yang menguntungkan.

7. Tidak menyerang komponen-komponen sistem emisi, pelapis (*coating*) atau segel.

Unjuk kerja katalitik *converter* dapat menurun karena pelumas yang tidak stabil atau perlakuan aditif yang tidak sesuai. Beberapa peralatan juga mengandung cat atau lapisan dan kebanyakan memiliki komponen segel elastomeric. Semua hal tersebut tidak boleh terdegradasi secara serius oleh pelumas.

8. Tidak memproduksi deposit dari residu.

Bila pelumas terdekomposisi pada komponen logam panas (seperti pada daerah cincin), ia akan membentuk produk oksidasi yang akan berpolimerisasi membentuk lapisan coklat atau kekuningan yang disebut sebagai pernis (*varnish* atau *lacquer*). Pernis dapat mengumpul dan lebih jauh berkarbonisasi membentuk karbon padat. Kedua jenis deposit tersebut dapat menghambat pergerakan bagian yang seharusnya bebas bergerak (seperti cincin piston). Selain tidak boleh menyebabkan terciptanya deposit pada bagian bergerak suatu mesin, pelumas juga tidak boleh menyebabkan terciptanya deposit yang terlalu banyak pada kamar pembakaran (*combustion chamber*).

9. Tidak beracun, atau menyebabkan bau.

Pelumas yang baik bekerja pada berbagai peralatan. Selain harus dapat memenuhi kebutuhan pengguna untuk melumasi peralatan, pelumas yang baik tentunya harus dapat menimbulkan kenyamanan dan menjaga kesehatan pengguna pelumas tersebut. Pelumas yang beracun atau

menyebabkan bau, selain dapat merusak kenyamanan pengguna juga dapat berakibat membahayakan bagi kesehatan pengguna pelumas tersebut.

10. Tidak terlalu mahal.

Sifat keekonomisan pelumas selain berhubungan dengan periode interval penggantian, juga berkaitan dengan harga pelumas itu sendiri. Harga pelumas selain ditentukan oleh persaingan antara sesama *supplier* pelumas, juga berkaitan dengan bahan penyusun pelumas itu sendiri. Semakin mahal pelumas, semakin bervariasi bahan penyusun pelumas tersebut, semakin bervariasi manfaat yang mampu diberikan pelumas tersebut.

2.1.4. Komponen pelumas

Minyak pelumas sesungguhnya tersusun atas dua komponen utama, yaitu bahan dasar (*base oil*) serta komponen aditif tambahan. Bahan dasar (*base oil*) adalah fluida dasar yang menjadi bagian terbesar (mayoritas) dari suatu minyak pelumas. Sedang komponen aditif tambahan merupakan komponen tambahan (minoritas) yang digunakan untuk meningkatkan performa pelumas. Umumnya suatu minyak pelumas tersusun atas 95% *base oil* dan 5% komponen aditif tambahan.

2.1.4.1. Bahan Dasar *Base Oil*

Bahan dasar *base oil* pelumas dapat tercipta dari berbagai bahan, diantaranya:

1. Bahan hasil tambang atau mineral

Bahan hasil tambang atau sering disebut juga bahan mineral dapat diolah menjadi minyak pelumas. Bahan mineral yang sering dijadikan bahan dasar *base oil* pelumas adalah minyak bumi, khususnya yang berasal dari fraksi berat. Fraksi berat minyak bumi yang sering dijadikan minyak pelumas, memiliki ciri khas titik didih yang tinggi ($> 400\text{ }^{\circ}\text{C}$) serta viskositas yang tinggi. Umumnya material tersebut terdiri dari 25 hingga 35 atau bahkan 40 atom karbon per molekul.

Awalnya minyak tidak menjadi bahan dasar utama pembuatan pelumas. Bahkan di tahun 1860-an, minyak justru hanya sekedar menjadi aditif bagi

pelumas yang terbuat dari minyak hewan atau tumbuhan. Seiring perkembangan industri berat berlangsung, permintaan terhadap pelumas mineral meningkat dan setelah tahun 1890-an minyak mineral menggantikan minyak hewan dan tumbuhan sebagai bahan dasar pembuatan minyak pelumas.

Minyak mineral merupakan minyak yang paling banyak digunakan sebagai bahan dasar pelumas. Hal ini disebabkan karena minyak mineral memiliki segala kemampuan dasar yang dibutuhkan dalam pelumasan. Antara lain menimbulkan gesekan yang rendah, merupakan penghantar panas yang baik, dan mampu memberikan perlindungan terhadap korosi, di samping itu juga memiliki keunggulan seperti:

1. Saat ini, harganya paling murah.
2. Jangkauan suhu operasinya relatif luas, meliputi hampir seluruh pemakaian mesin industri, mesin-mesin transportasi, mesin-mesin perkakas, dan sebagainya.
3. Sifat fisika maupun kimia mudah dikontrol serta tidak beracun.
4. Mudah bercampur dengan aditif.
5. Tidak merusak sekat dan saluran.
6. Mempunyai jangkauan waktu yang ekonomis dalam pelumasan mesin.
7. Hampir tidak membentuk emulsi dengan air.

Tabel 2. 2. Karakteristik pelumasan beberapa senyawa hidrokarbon (sumber : Landsdown, 1982)

Golongan senyawa	Viskositas	Indeks Viskositas	Stabilitas Oksidasi	Titik Tuang
Hidrokarbon n-parafinik	tinggi	sangat tinggi	baik	tinggi
i-parafinik sedikit cabang	tinggi	tinggi	baik	sedang
i-parafinik banyak cabang	tinggi	tinggi	baik	rendah
naften rantai alkil pendek	sangat tinggi	rendah	baik	rendah
naften rantai alkil panjang	sangat tinggi	tinggi	baik	rendah
aromatik rantai alkil pendek	sangat tinggi	rendah	jelek	bervariasi
aromatik rantai alkil panjang	sangat tinggi	tinggi	baik	rendah

Namun, telah menjadi kendala tersendiri untuk tetap memperahankan minyak bumi sebagai bahan baku pembuatan pelumas ataupun sumber energi. Mengingat minyak bumi merupakan sumber yang tak terbarukan karena berasal dari fosil dengan jumlah terbatas serta tidak semua sumber minyak mentah mengandung fraksi yang cocok untuk diolah menjadi minyak pelumas, contohnya dari seluruh sumber minyak mentah yang ditemukan di Laut Utara hanya satu sumber minyak mentah yang mengandung fraksi yang cocok untuk diolah menjadi minyak pelumas. Selain itu pelumas mineral memiliki tingkat *ecotoxicity* yang tinggi dan tingkat *biodegradability* yang sangat rendah, sehingga dapat dikatakan sangat mengancam dan membahayakan lingkungan.

2. Bahan sintetis

Minyak sintetis merupakan minyak yang dibuat melalui sintesis kimiawi dengan memadukan senyawa-senyawa yang memiliki berat molekul yang rendah dan memiliki viskositas yang memenuhi syarat untuk digunakan bahan dasar pelumas.

Istilah sintetis atau tersintesis digunakan untuk menjelaskan fluida dasar apa yang digunakan dalam pelumas tersebut. Suatu bahan sintetis adalah material yang dihasilkan dari perpaduan atau penyatuan sejumlah unit-unit dasar yang berdiri sendiri menjadi suatu material baru dengan ciri/sifat yang baru.

Bahan sintetis yang dimaksud adalah bahan kimia yang bukan hasil langsung pengolahan minyak bumi. Bahan ini merupakan hasil rekayasa ahli kimia dan pelumas, di dalam usahanya untuk membuat pelumas baru yang lebih baik. Penggunaan bahan sintetis mulai digalakkan pada tahun 1980-an.

Pelumas sintetis memiliki banyak perbedaan dengan pelumas yang terbuat dari minyak mineral. Minyak mineral terbuat dari campuran senyawa kompleks hidrokarbon yang terbentuk secara alami. Sifat-sifat yang dihasilkan merupakan sifat rata-rata dari campuran yang sudah mencakup sifat yang baik untuk pelumasan dan juga sifat-sifat yang sesungguhnya buruk untuk pelumasan. Sedangkan pelumas sintetis merupakan pelumas buatan manusia yang dirancang sedemikian rupa sehingga struktur molekul dari campuran yang terbentuk dapat

diatur sesuai dengan sifat-sifat yang diinginkan/diharapkan. Pelumas sintetik juga dapat diolah sehingga memiliki sifat-sifat unik yang tidak dimiliki oleh pelumas dari minyak mineral, misalnya sifat *nonflammable*, dapat terlarut dalam air, dan lain-lain. Dengan begitu, penggunaan pelumas sintetik dapat meminimalkan biaya tambahan yang harus dikeluarkan apabila menggunakan pelumas dari minyak mineral yang tentunya tidak dapat memiliki sifat-sifat seperti yang dimiliki oleh pelumas sintetik.

Keuntungan penggunaan pelumas sintetik lainnya adalah kestabilannya yang tinggi terhadap temperature. Pelumas sintetik tetap stabil pada temperature yang sangat tinggi dan memiliki karakteristik aliran yang menonjol walaupun pada temperature yang sangat rendah. Pelumas sintetik dapat terbuat dari bahan-bahan seperti hidrokarbon sintesis, ester-ester *organic*, poliglikol, ester-ester fosfat, dan fluida sintetik lainnya. Terdapat tujuh jenis base oil untuk pelumas sintetik yang paling banyak digunakan, yaitu:

- Polyalphaolefins (Poly α -Olefin/PAO)
- Alkylated aromatics
- Polybutenes
- Aliphatic diesters
- Polyolesters
- Polyalkyleneglycols
- Phosphate ester

Namun, secara keseluruhan kebanyakan minyak sintesis tetap berasal dari minyak bumi (mineral) sehingga ketika jumlah minyak bumi menurun tentunya jumlah minyak sintesis yang dapat diproduksi juga menurun. Biaya yang harus dikeluarkan untuk memproduksi minyak sintesis juga lebih besar. Serta meskipun minyak sintesis dapat diperoleh dari batu bara, namun seperti minyak bumi, sifat batu bara yang tidak dapat diperbaharui (*unrenewable*) juga akan membawa ke pada akhir yang sama serta tidak lupa biaya produksi yang dikeluarkan pun tetap tinggi.

3. Bahan yang berasal dari minyak natural (lemak hewan dan minyak tumbuh-tumbuhan)

Pelumas hewani dan nabati merupakan minyak pelumas yang diperoleh dari lemak hewan dan tumbuh-tumbuhan. Bahan pelumas dari minyak natural ini diperkirakan merupakan pelumas yang tertua. Berbeda dengan pelumas mineral, pelumas hewani dan nabati mengandung senyawa yang tidak jenuh. Senyawa-senyawa ini tidak stabil, mudah teroksidasi, dan membentuk asam-asam lemak yang dapat menyebabkan bagian-bagian mesin terserang karat. Oksidasi itu diperhebat oleh tekanan dan suhu tinggi jika dipakai dalam sistem pelumasan paksa (*force feed lubrication system*), sehingga kadar asamnya juga meningkat, warna menjadi lebih tua, berat jenis dan viskositas naik sereta daya lumasnya berkurang.

Selanjutnya minyak nabati dan hewani dengan air sangat mudah membentuk emulsi dan agak sulit untuk memisahkan minyak dari emulsi tersebut. Di samping hal-hal yang merugikan tersebut, terdapat dua hal menguntungkan dari minyak natural, yaitu minyak pelumas natural memiliki daya lumas yang sangat baik dan dapat merekat lebih baik pada bidang-bidang basah dan lembab sekalipun dibanding minyak mineral.

Beberapa keuntungan dari minyak nabati yang telah diketahui, dibandingkan dengan minyak mineral, diantaranya:

1. Berasal dari sumber yang dapat diperbaharui (renewable)
2. Mudah terbiodegradasi

Minyak nabati dapat dengan mudah terbiodegradasi dengan sempurna mengingat rantai esternya dapat terputus dan teroksidasi pada ikatan rangkapnya.

3. Tidak beracun
4. Aman

Minyak nabati memiliki flash point yang sangat tinggi, rata-rata lebih dari 290 °C sehingga memperkecil resiko terjadinya kebakaran terhadap pelumas.

5. Mengurangi emisi mesin

Volatilitas minyak nabati (trigliserida) yang rendah dan titik didihnya yang tinggi mengakibatkan sedikit pelumas yang terikut dalam emisi gas buang dan sebagai partikulat.

6. Melekat lebih baik pada permukaan logam
7. Melekat lebih baik pada bidang-bidang basah dan lembab dibanding minyak mineral.

Hal ini disebabkan karena minyak nabati memiliki komponen asam lemak yang kepolarannya lebih kuat dari air sehingga minyak nabati mampu bersaing dengan air pada permukaan logam untuk berikatan dengan logam.

Molekul asam lemak merupakan bentuk rantai panjang yang mempunyai ikatan gugus karboksilat pada ujungnya. Gugus karboksilat pada ujung ikatan molekul ini berkemampuan untuk membentuk ikatan kimia ketika ereaksi dengan permukaan logam. Bagian molekul aktif yang dapat bereaksi itu disebut bagian polar, yang dapat melekat pada bagian logam dengan ikatan yang cukup kuat. Ikatan ini akan melindungi logam selama terjadi kontak dengan logam yang lain. Bentuk-bentuk molekul asam lemak ini merupakan rantai panjang sehingga tidaklah mengherankan jika memiliki berat molekul yang tinggi, seperti asam stearat dan oleat. Keduanya merupakan bahan pelumas industri.

Tumbuh-tumbuhan yang telah diketahui dan telah digunakan sebagai bahan dasar pembuatan pelumas diantaranya adalah kelapa sawit, jagung, bunga matahari, jarak pagar, dan kedelai.

2.1.4.2. Aditif Pelumas

Aditif pelumas adalah berbagai material yang ditambahkan dalam kadar sedikit pada pelumas untuk meningkatkan sifat-sifatnya (Caines, 1996). Pada awal perkembangan teknologi pelumasan, minyak mineral justru digunakan sebagai komponen aditif bagi minyak pelumas yang berasal dari lemak hewan atau tumbuh-tumbuhan. Minyak mineral digunakan untuk meningkatkan kualitas serta menurunkan harga pelumas saat itu. Namun ketika minyak mineral mulai digunakan secara besar-besaran sebagai pelumas, situasi

menjadi berbalik dan aditif pertama yang digunakan pada pelumas mineral adalah lemak hewan dan minyak tumbuh-tumbuhan. Sekarang proses penambahan lemak hewan atau minyak tumbuh-tumbuhan diketahui sebagai suatu proses penambahan molekul polar pada minyak mineral untuk meningkatkan unjuk kerja pelumasan batasnya (*boundary lubrication*).

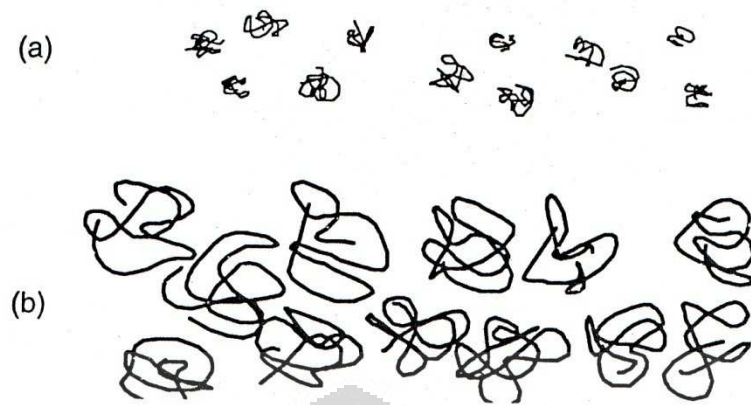
Bahan aditif sintetis pertama kali dikembangkan di tahun 1930an oleh *The Standard Oil Development Laboratories* (sekarang *Exxon Research*) untuk meningkatkan sifat-sifat fisika pelumas. Sejak saat itu perkembangan industry aditif pelumas berkembang pesat seiring meningkatnya pelumas oleh Perang Dunia II. Berikut merupakan jenis-jenis aditif yang berhasil dikembangkan :

- *Pour Point Depressant*

Pour point merupakan titik (temperature) terendah dimana pelumas masih dapat dituang (mengalir). Suatu pelumas memerlukan *pour point* yang rendah agar di saat temperature yang dingin sekalipun, pelumas masih dapat mengalir di antara bagian-bagian mesin. Untuk meningkatkan unjuk kerja *pour point* pelumas, digunakanlah *pour point depressant* agar menghasilkan reduksi temperature *pour point* yang tinggi sehingga dihasilkan pelumas yang memiliki *pour point* yang sangat rendah.

- *Viscosity Modifiers*

Suatu pelumas memiliki nilai indeks viskositas (*viscosity index*) yang menunjukkan kemampuan suatu pelumas dalam mempertahankan viskositasnya karena perubahan temperature. Untuk meningkatkan indeks viskositas pelumas, digunakanlah *viscosity modifiers*. Zat *viscosity modifiers* ini pada suhu yang tinggi dapat terpecah, dan dikelilingi oleh molekul *base stock* pelumas dan tersebar ke seluruh pelumas, mencampuri sifat alirnya dan akhirnya meningkatkan viskositas pelumas. Sedang pada suhu yang rendah, zat *viscosity modifiers* kurang terpecah dan cenderung menarik molekulnya sendiri dibanding molekul *base stock*, membentuk suatu gulungan kecil sehingga kurang mencampuri aliran pelumas. Sementara minyak pelumas telah menebal dengan sendirinya karena penurunan suhu.



Gambar 2. 1 Efek aditif viscosity modifier pada pelumas (a) pada temperature rendah dan (b) pada temperature tinggi (sumber : Landsdown, 1982)

- **Anti Oksidan**

Dengan keberadaan udara, pelumas cenderung teroksidasi pada suhu tinggi dan menjadi lebih gelap, berubah menjadi bersifat asam, dan membentuk endapan. Endapan tersebut dapat terakumulasi dan menyebabkan terganggunya aliran pelumas, sehingga berbahaya bagi kondisi mesin. Untuk mengatasinya digunakanlah aditif anti oksidan untuk menghambat reaksi oksidasi pelumas tersebut.

Tabel 2. 3. Contoh aditif anti oksidan (sumber : Landsdown, 1982)

Tipe	Contoh
Metal organophosphates	Zinc diethyl dithiophosphate
Amine	Phenothiazine
	N-phenyl-naphthylamine
	Diphenylamine
Hindered phenols	2,6-di-tert-butyl-4-methylphenol
Organic phosphites	Tri-n-butyl phosphite
Organometallics	Zinc di-n-butyl-diylhiocarbamate

- **Detergents dan Detergent-Inhibitor**

Aditif *detergents* ialah zat yang bertugas meminimalisasi timbulnya deposit pada bagian-bagian panas suatu mesin, contohnya pada piston

dan cincin piston. Sedang *detergent-inhibitor* ialah aditif yang berfungsi sebagai suatu *detergent* namun juga mengandung komponen-komponen yang dapat menghambat oksidasi pelumas dan korosi bantalan poros.

- Dispersants

Mesin bensin umumnya bekerja pada suhu yang lebih rendah dibanding mesin diesel, sehingga pelumas mesin bensin cenderung memiliki kandungan kontaminan air yang lebih tinggi. Ketika zat detergents yang dikembangkan untuk mesin diesel, pertama kali digunakan untuk mesin bensin, ternyata zat tersebut hanya berpengaruh sedikit pada pengendalian endapan yang tercipta. Endapan yang tercipta pada mesin bensin seringkali disebut endapan dingin (*cold sludge*). Untuk mengatasinya, kemudian dikembangkanlah zat aditif *dispersants*. *Dispersants* merupakan aditif yang ditambahkan pada pelumas yang bertugas untuk melarutkan air dan kontaminan-kontaminan lainnya. *Dispersants* bertugas sebagai *mild detergents*.

- Anti aus

Aktivitas peralatan yang mengharuskannya mengalami kontak dengan permukaan benda yang lain, tentunya akan menimbulkan friksi pada permukaan peralatan tersebut. Ketika friksi berlangsung hebat dan terus menerus, lama kelamaan permukaan peralatan tersebut akan mengalami aus dan menipis. Hal tersebut dapat menimbulkan bahaya bagi peralatan tersebut, karena aus yang dibiarkan terlalu lama, mampu menyebabkan kerusakan permanen bagi peralatan tersebut. Pelumas berfungsi untuk mereduksi friksi dan aus tersebut, dan untuk menambah sifat pelumasan anti aus digunakanlah aditif anti aus.

Tabel 2. 4. Contoh Aditif Anti Aus (sumber : Landsdown, 1982)

Ethyl stearate
Stearic acid
Tri-para-sresyl phosphate
Tri-xylyl phosphate
Rapeseed oil
Methyl stearate
Zinc diethyl dithiophosphate
Dilauryl phosphate

- Friction Modifiers

Terdapat dua tipe aditif friction modifiers, yaitu:

1. Friction reducers

Aditif ini berfungsi meningkatkan kelicinan sehingga menurunkan koefisien friksi. Aditif ini mampu menurunkan panas yang teregenerasi sehingga energy yang terbuang juga menurun, sehingga meningkatkan keekonomisan.

2. Friction enhancers

Aditif ini merupakan kebalikan aditif *friction reducers*, Aditif friction enhancers justru berfungsi untuk meningkatkan koefisien friksi statis tinggi. Aditif ini berfungsi pada transmisi otomatis yang membutuhkan penguncian cepat untuk mencegah slip kopeling berlebihan dan aus selanjutnya.

- Inhibitor karat dan korosi

Sangatlah penting untuk melindungi suatu mesin dari perkaratan pada area dimana air cenderung berkumpul serta korosi beberapa jenis logam (seperti aluminium, magnesium, campuran tembaga, dll) karena kelebihan kelembaban atau produk samping hasil pembakaran yang bersifat asam. Untuk melaksanakan hal tersebut, digunakanlah aditif inhibitor karat dan korosi pada pelumas untuk mencegah karat dan korosi pada bagian-bagian peralatan dan mesin.

Tabel 2. 5. Contoh Aditif Inhibitor Karat dan Korosi (sumber : Landsdown, 1982)

Zinc diethyldithiophosphate
Zinc diethyldithiocarbonate
Trialkyl phosphites
Sulphurised terpenes
Calcium or barium sulphonates

- Anti busa

Banyak sistem pelumasan, khususnya pada mesin dimana poros engkol (*crankshaft*) memukul campuran udara dan pelumas bersamaan, mengakibatkan timbulnya lapisan tipis busa pada pelumas. Bila suatu pelumas terlalu banyak membusa, hal ini dapat menyebabkan hilangnya sifat-sifat pelumasan pada pelumas serta hilangnya pelumas itu sendiri pada mesin. Oleh karena itu, digunakanlah aditif anti busa pada minyak pelumas.

2.2. Bahan Pelumas dari Minyak Sawit

2.2.1. Biopelumas

Biopelumas merupakan pelumas yang dikembangkan dari bahan dasar berupa lemak hewan atau minyak tumbuh-tumbuhan. Terjadinya kecenderungan penggunaan minyak tumbuh-tumbuhan sebagai alternative bahan dasar (*base oil*) pelumas didasari oleh kepedulian terhadap bahaya lingkungan yang diakibatkan oleh pelumas berbahan dasar minyak mineral, serta semakin berkurangnya kandungan minyak bumi dunia dan harganya yang terus naik. Terdapat banyak tumbuh-tumbuhan yang dapat dijadikan sebagai bahan dasar biopelumas, diantaranya minyak kelapa, minyak zaitun, minyak *rapeseed*, dll.

Biopelumas berbahan dasar minyak tumbuhan lebih disukai karena selain bersifat dapat diperbaharui (*renewable*), juga bersifat dapat didegradasi oleh alam (*biodegradable*) dan tidak beracun. Biopelumas berbahan dasar minyak tumbuhan juga memiliki banyak sifat yang diperlukan dalam suatu pelumas seperti ketahanan aus yang lebih tinggi dibanding minyak mineral (Fessenden, 1999). Biopelumas indeks viskositas yang tinggi, volatilitas yang rendah, dan sifat pelumasan yang baik serta merupakan pelarut yang baik untuk fluida-fluida aditif.

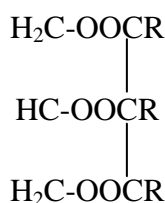
Namun, biopelumas berbahan dasar minyak tumbuhan memiliki ketahanan oksidatif dan suhu yang rendah. Hal ini disebabkan karena banyaknya ikatan tidak jenuh pada bahan dasar minyak tumbuhan yang akan membantuk resin dan deposit bila terkena panas tinggi dan oksigen. Karena itu untuk meningkatkan ketahanannya terhadap oksidasi, minyak tumbuhan melalui proses transesterifikasi, epoksidasi, dan kemudian reaksi pembukaan cincin untuk menurunkan jumlah ikatan rangkap di dalamnya.

2.2.2. Minyak Sawit

Minyak sawit adalah minyak yang diperoleh dari proses ekstraksi buah pohon kelapa sawit. Buah sawit sendiri menghasilkan daging buah dan biji kelapa sawit. Sehingga dari buah kelapa sawit dapat dihasilkan dua macam minyak yang berbeda sifatnya, yaitu minyak sawit (CPO), berasal dari sabut kelapa sawit dan minyak inti sawit (CPKO), berasal dari inti kelapa sawit. Minyak sawit seringkali disebut sebagai *palm oil* sedangkan minyak inti sawit seringkali disebut sebagai *palm kernel oil*.

CPO juga dapat diuraikan untuk produksi minyak sawit padat (RBD Stearin) dan minyak sawit cair (RBD Olein). RBD Olein terutama dipergunakan untuk pembuatan minyak goreng. Sedangkan RBD Stearin terutama dipergunakan untuk margarin dan shortening, di samping untuk bahan baku industri sabun dan deterjen.

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 2.2 berikut.



Gambar 2. 2 Struktur Molekul Trigliserida (sumber : Sumarsono, 2007)

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 2.6 berikut.

Tabel 2. 6. Kandungan Trigliserida Berdasar Asam Lemak dari Beberapa Minyak dan Lemak
(sumber : Sumarsono, 2007)

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	-
Linolenat	$C_{18}H_{30}O_2$	-	-	-	-	8	1

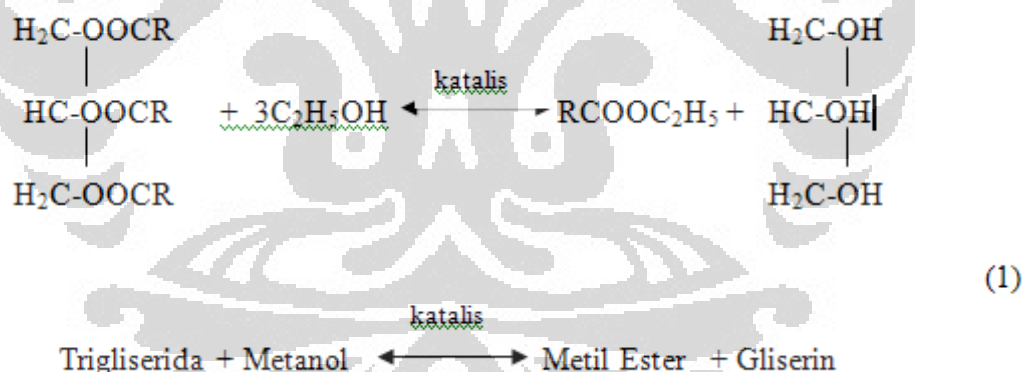
2.2.3. EFAME

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, agar minyak sawit dapat digunakan sebagai bahan dasar pelumas maka minyak tersebut harus menjalani beberapa proses menjadi EFAME. EFAME dipilih karena FAME (POME) masih mengandung banyak ikatan rangkap yang bila tidak dikurangi, dikhawatirkan dapat menyebabkan pelumas cepat teroksidasi dan

terpolimerisasi membentuk deposit. Serta gugus epoksida yang terbentuk diharapkan dapat menambah sifat kepolaran *base oil* (minyak dasar) sehingga pelumas menjadi lebih kuat teradsorpsi pada permukaan logam. Modifikasi yang sudah pernah diteliti di Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia, melalui 2 tahap reaksi, yaitu transesterifikasi, dan epoksidasi. Pada intinya, setelah melalui proses-proses di atas, minyak sawit akan menghasilkan EFAME yang diharapkan dapat menjadi bahan dasar pelumas.

2.2.3.1. Transesterifikasi

Transesterifikasi atau alkoholisis adalah mereaksikan lemak atau minyak dengan alkohol untuk membentuk ester dan gliserol^[3]. Katalis yang biasa digunakan untuk meningkatkan laju reaksi dan produk antara lain alkali (basa), asam atau enzim. Laju reaksi proses transesterifikasi berkatalis basa akan lebih tinggi dibanding yang menggunakan katalis asam. Mekanisme reaksi transesterifikasi trigliserida dengan metanol dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut.



Gambar 2. 3 Reaksi Transesterifikasi Trigliserida dengan Metanol (sumber : Sumarsono, 2007)

Beberapa sifat fisik senyawa-senyawa hasil transesterifikasi dapat dilihat pada Tabel 2.7. Titik didih dan titik lebur asam lemak, metil ester, mono-, di- dan trigliserida meningkat seiring dengan peningkatan atom karbon dalam rantai karbon, akan tetapi menurun dengan naiknya jumlah ikatan rangkap.

Tabel 2. 7.Sifat Fisik Senyawa-senyawa Hasil Transesterifikasi (sumber : Sumarsono, 2007)

Nama	ρ g/ml ($^{\circ}$ C)	Titik Lebur ($^{\circ}$ C)	Titik Didih ($^{\circ}$ C)
Metil Miristat	0,875 (75)	18.8	-
Metil Palmitat	0.825	30.6	196
Metil Stearat	0.85	38	215
Metil Oleat	0.875	-19.8	190
Metanol	0.792	-97	64.7
Etanol	0.789	-112	78.4
Gliserol	1.26	17.9	290

2.2.3.2. Epoksida dan Reaksi Epoksidasi

➤ Epoksida

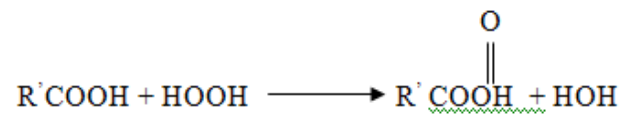
Epoksida merupakan salah satu jenis eter (ROR). Eter memiliki ikatan yang mirip dengan air dan bersifat polar. Eter dapat bersifat rantai terbuka atau siklik. Bila besar cincin (termasuk oksigen) lima anggota atau lebih, maka sifat eter itu mirip dengan eter terbuka padanannya (tetapi terdapat perbedaan laju reaksi karena oksigen dalam rantai siklik kurang mengalami rintangan sterik dibandingkan dengan eter rantai terbuka. Epoksida mengandung cincin eter beranggota tiga. Epoksida lebih reaktif daripada eter lain karena ukuran cincinnya lebih kecil.

➤ Reaksi Epoksidasi

Epoksidasi merupakan salah satu jenis reaksi oksidasi yang terjadi pada alkena (Fenbery, 2006). Reaksi tersebut menyerang ikatan ganda karbon pada alkena dan mengubahnya menjadi oksirana/epoksida. Katalis yang biasa digunakan adalah katalis asam yaitu asam formiat dan oksidator yang dipakai adalah hidrogen peroksida (H_2O_2) karena H_2O_2 merupakan oksidator kuat.

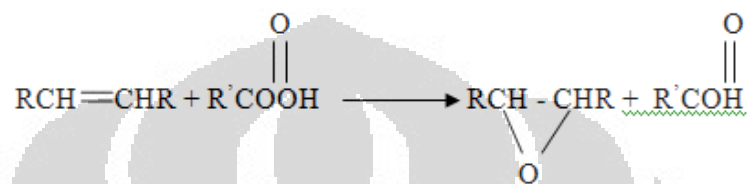
Reaksi yang terjadi melalui 2 tahap, yaitu reaksi oksidasi asam menjadi peroksida oleh hidrogen peroksida dan kemudian reaksi epoksidasi alkena oleh asam peroksida. Mekanisme reaksi epoksidasi dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut.

Tahap 1 :



(2)

Tahap 2



Gambar 2. 4 Mekanisme Reaksi Epoksidasi (sumber : Sumarsono, 2007)

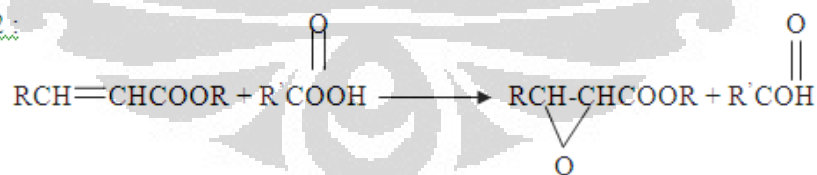
Reaksi epoksidasi dapat dilakukan pada ester dengan mekanisme yang sama dengan reaksi epoksidasi alkena. Ikatan rangkap karbon pada ester diadisi oleh oksigen yang berasal dari asam peroksida. Mekanisme reaksi epoksidasi ester dapat dilihat pada Gambar 2.5 berikut.

Tahap 1 :



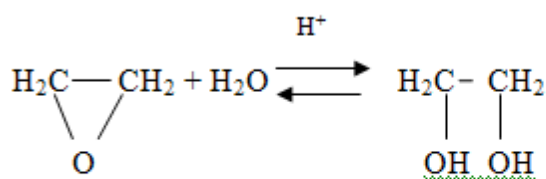
(3)

Tahap 2 :



Gambar 2. 5 Mekanisme Reaksi Epoksidasi Ester (sumber : Sumarsono, 2007)

Epoksida mudah mengalami hidrolisis bila dikatalis oleh asam membentuk diol yang akhirnya akan menghasilkan etilen glikol pada suhu 60°C. Mekanisme reaksi hidrolisis epoksida dapat dilihat pada Gambar 2.6 berikut.

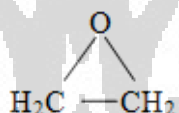


(4)

Gambar 2. 6 Mekanisme Hidrolisis Epoksida (sumber : Sumarsono, 2007)

2.2.3.3. Reaksi Substitusi Epoksida

Suatu cincin epoksida, seperti cincin siklopropana, tidak dapat memiliki sudut ikatan sp^3 sebesar 109° , sudut antar intinya hanya 60° , sesuai dengan persyaratan cincin tiga-anggota. Orbital yang membentuk ikatan cincin tidak dapat mencapai tumpang tindih maksimal. Oleh karena itu, cincin epoksida mengalami terikan. Polaritas ikatan-ikatan C-O dan terikan tersebut menyebabkan reaktivitas epoksida yang tinggi dibandingkan reaktivitas eter lainnya. Struktur molekul oksirana dapat dilihat pada Gambar 2.7 berikut.

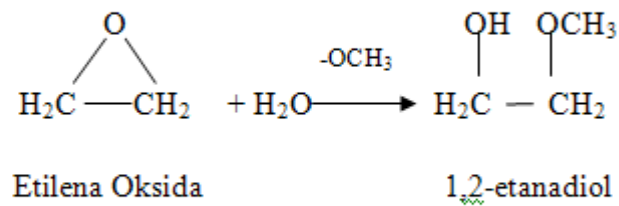


(5)

Gambar 2. 7 Struktur Oksirana /Etilena Oksida. (sumber : Sumarsono, 2007)

Pembukaan cincin tiga anggota tertarik menghasilkan produk yang lebih stabil dan berenergi lebih rendah. Reaksi khas epoksida adalah reaksi pembukaan cincin yang dapat berlangsung baik pada suasana asam atau basa. Reaksi ini disebut reaksi pemaksapisahan berkatalis asam atau basa. Mekanisme reaksi pemaksapisahan dapat dilihat pada Gambar 2.8 dan 2. 9 berikut.

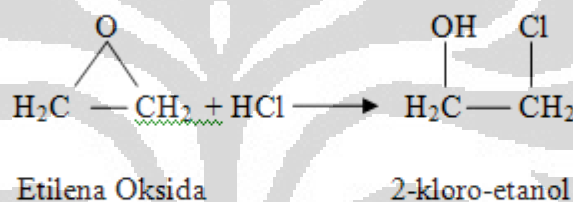
Dalam basa :



(6)

Gambar 2. 8 Reaksi Pemaksapisahan Berkatalis Basa (sumber : Sumarsono, 2007)

Dalam asam :



(7)

Gambar 2. 9 Reaksi Pemaksapisahan Berkatalis Asam (sumber : Sumarsono, 2007)

2.2.4. Pengaruh Pelumas Nabati terhadap Friksi dan Emisi Gas

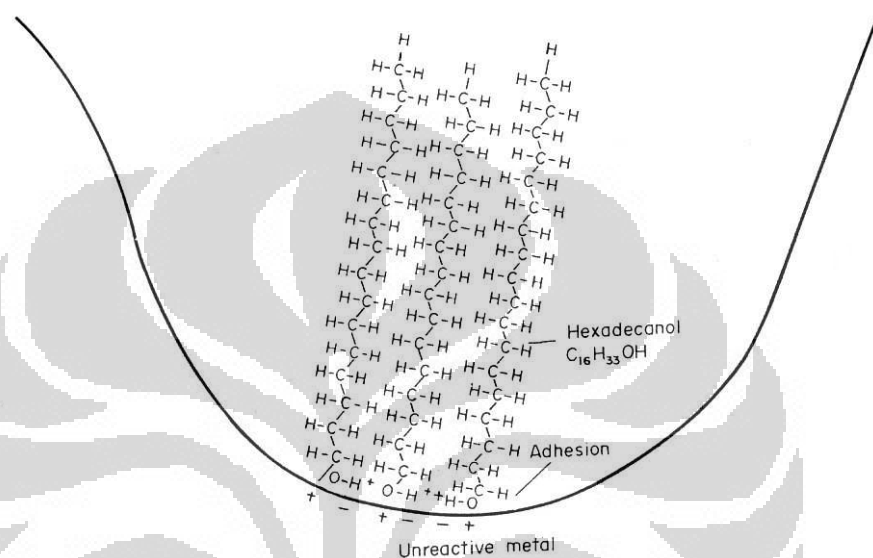
Unjuk kerja pelumas pada mesin, pada intinya dapat membawa pengaruh besar pada dua hal, yaitu friksi yang terjadi antar permukaan dan emisi gas buang. Berikut merupakan penjelasan mekanisme pelumas terhadap keduanya.

1) Friksi

Friksi merupakan gaya resistansi gerakan suatu permukaan pada permukaan yang lain. Bila friksi yang terjadi bersifat rendah dan tunak, pergeseran yang terjadi akan mudah dan lancar. Namun bila friksi yang terjadi sangat besar, tidak akan terjadi gerakan dan permukaan menjadi terlalu panas atau permukaan mengalami kerusakan.

Pelumas nabati EFAME memiliki bahan dasar *base oil* bertipe rantai ester, berbeda dengan pelumas mineral yang memiliki bahan dasar base oil

bertipe rantai parafinik, naften, dan aromatic. Dibanding molekul pelumas mineral, molekul pelumas nabati memiliki tingkat kepolaran yang lebih tinggi. Hal ini mengakibatkan molekul pelumas nabati mampu “teradsorpsi” pada permukaan lebih baik. Gambar 2.10 berikut menggambarkan contoh molekul suatu rantai alcohol yang teradsorpsi pada permukaan suatu logam.



Gambar 2. 10 Adsorpsi Alkohol Rantai Panjang pada Permukaan Logam (sumber : Landsdown, 1982)

Semakin kuat dan tebal molekul pelumas melekat pada permukaan, semakin baik kinerja pelumas tersebut dalam melumasi permukaan dan menyerap friksi (Landsdown, 1982).

2) Emisi Gas Buang

Produksi emisi gas buang pada mesin 2T, sangat terkait dengan volatilitas pelumas, mengingat pada mesin 2T pelumas dicampur langsung bersama bahan bakar.

Volatilitas merupakan ukuran kecenderungan suatu substansi untuk menguap. Secara umum, semakin rendah titik didih normal (*normal boiling point*) suatu senyawa, semakin tinggi tingkat volatilitas senyawa tersebut. Tabel 2.8 berikut memberikan contoh data titik didih normal senyawa alkana dan ester pada jumlah C yang sama.

Tabel 2. 8. Data titik didih normal molekul pelumas mineral (parafinik, naften, aromatic) serta molekul pelumas nabati (ester) pada jumlah C yang sama (sumber : Fessenden, 1999)

Pelumas mineral (parafinik, naften, dan aromatik)	Titik Didih (°C)	Pelumas nabati (ester)	Titik Didih (°C)
CH ₃ CH ₂ CH ₃	-42	CH ₃ CO ₂ CH ₃	57.5
CH ₃ (CH ₂) ₂ CH ₃	0	CH ₃ CO ₂ CH ₂ CH ₃	77
CH ₃ (CH ₂) ₃ CH ₃	36	CH ₃ CO ₂ (CH ₂) ₂ CH ₃	102
CH ₃ (CH ₂) ₄ CH ₃	69	CH ₃ (CH) ₂ CO ₂ CH ₂ CH ₃	121
C ₆ H ₆	80	CH ₃ (CH) ₂ CO ₂ CH ₂ CH ₃	142

Molekul pelumas mineral umumnya memiliki rantai karbon (parafinik, naften, dan aromatic) yang lebih pendek dibanding molekul pelumas nabati (ester). Sehingga pelumas mineral lebih volatile dan lebih mudah menguap dibanding pelumas nabati. Sedang pelumas nabati kurang volatile dibanding pelumas mineral, sehingga lebih tidak volatile dan lebih sulit terbakar. Hal ini menyebabkan asap emisi gas buang mesin berpelumas nabati lebih sedikit karena pelumas yang terbakar juga lebih sedikit.

Serta pada pelumas nabati, bahan dasar base oil yang bertipe ester (- CO₂R) memungkinkan kandungan oksigen (O₂) pada pelumas nabati membantu proses pembakaran. Menyebabkan pada mesin proses pembakaran menggunakan pelumas nabati, pembakaran lebih sempurna dan sisa HC (hidrokarbon) yang tidak terbakar lebih sedikit. Emisi yang dihasilkan juga lebih ramah lingkungan.

2.3. Pelumasan dan Pelumas 2T

2.3.1. Pelumasan Mesin 4-Tak dan 2T

Terdapat perbedaan dalam pelumasan sistem 4-tak dan 2T. Dalam mesin 4-tak, rumah mesin (*crankcase*) benar-benar terpisah dari ruang pembakaran, bantalan poros (*bearings*) terletak baik pada ujung piston batang penghubung (*connecting rod*) dan dinding silinder. Sedang pada mesin 2T, rumah mesin

bertindak sebagai ruang penekan untuk memaksa campuran udara/bensin ke dalam silinder, sehingga ia tidak dapat menampung minyak yang tebal.

Oleh karena itu pada mesin 2T, dicampurlah pelumas ke dalam campuran udara dan bahan bakar untuk melumasi rumah mesin, batang penghubung (*connecting rod*) dan dinding silinder. Rasio antara bahan bakar-pelumas dapat bervariasi dari 20:1, 30:1, 40:1, 50:1, 75:1 dan 100:1.

Mesin 4T menggunakan sistem pelumasan yang jauh berbeda dari mesin 2T. Mesin 4T yang berkapasitas kecil melumasi mesinnya dengan cara *splash* (pemercikan) dimana pelumas dipercikkan dari tempat penampungan pelumas di bagian bawah rumah mesin (*crankcase*) yang memberikan pelumasan pada *piston pin*, cincin piston (*piston ring*) dan dinding silinder. Pelumasan dilakukan dengan menggunakan sistem yang dilengkapi dengan tempat penampungan pelumas, pipa, pompa, *oil filter* dan *nozzle* yang memungkinkan pelumas untuk di *recycle*.

2.3.2. Pelumas 2T

Seperti pelumas pada umumnya, pelumas 2T juga terdiri atas bahan dasar (*base oil*) dan zat aditif tambahan. Bahan dasar bagi pelumas 2T dapat terbuat dari minyak mineral, minyak sintetis, maupun lemak hewan dan minyak tumbuhan. Kebanyakan pelumas 2T masa kini terbuat dari minyak mineral maupun turunannya (minyak sintetis). Namun setelah digunakan secara luas oleh banyak masyarakat, timbul keluhan mengenai emisi asap yang dihasilkan oleh mesin 2T berpelumas minyak mineral yang sangat banyak, serta tumpahan pelumas mineral yang memiliki tingkat *ecotoxicity* yang tinggi dan tingkat *biodegradability* yang sangat rendah, sehingga dapat dikatakan sangat mengancam dan membahayakan lingkungan (Sumarsono, 2007).

Akhir-akhir ini banyak penelitian yang merujuk pada minyak tumbuhan sebagai alternatif bahan dasar pelumas 2T. Di Kerala, India banyak pengguna kendaraan 2T yang telah menggunakan pelumas berbahan dasar minyak tumbuhan. Banyak diantaranya melaporkan adanya peningkatan kecepatan per mil, akselerasi yang lebih baik, operasi mesin yang lebih halus, serta emisi asap yang berkurang (Jayadas, 2007). Serta penelitian sebelumnya juga menunjukkan pelumas nabati secara umum menghasilkan emisi gas buang yang lebih ramah lingkungan (Masjuki, 1999).

Zat aditif pelumas 2T pada umumnya terdiri dari 3 jenis (Prasetyo, 2008) yaitu:

- Anti aus

Pelumas anti aus berguna untuk meningkatkan ketahanan pelumas terhadap aus. Aus pada pelumas terjadi karena pelumas yang selalu bergesekan dengan permukaan lain, menyebabkannya lama kelamaan menjadi aus dan tidak dapat dipergunakan lagi.

- *Detergent/dispersant*

Detergent/dispersant berfungsi untuk mendispersikan deposit dalam pelumas agar tidak terjadi pengumpulan yang dapat menyebabkan penghambatan saluran pembuangan, *ring sticking* dan *power valve sticking*. *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 Oksidan

Pelumas juga dapat teroksidasi, baik karena bereaksi dengan udara sekitar maupun dengan agen pengoksidasi lainnya. Pelumas yang teroksidasi dapat membentuk endapan yang nantinya akan menghambat laju alir pelumas lainnya.

2.3.3. Perkembangan Penelitian Pelumas Nabati 2T

Penelitian yang bertujuan menciptakan pelumas nabati 2T telah dilakukan oleh beberapa peneliti, di antaranya oleh G.A.Sivasankaran (1988), H.H. Masjuki (1999), dan N.H.Jayadas (2006). Penelitian oleh G.A.Sivasankaran (1988) bertemakan pembuatan pelumas nabati 2T dari minyak jojoba. Penelitiannya berhasil membuktikan bahwa minyak jojoba memiliki ketahanan aus yang lebih baik dari pelumas mineral dan memiliki unjuk kerja yang

serupa dengan pelumas mineral (Sivasankaran,1988). Penelitian oleh H.H. Masjuki (1999) bertemakan pelumas 2T kelapa sawit POME. Penelitiannya berhasil menunjukkan bahwa pelumas nabati kelapa sawit POME memiliki ketahanan aus lebih baik daripada pelumas mineral komersil, serta menghasilkan emisi CO dan HC yang lebih rendah daripada pelumas mineral komersil. Kemudian penelitian oleh N.H.Jayadas (2006) yang bertemakan pelumas berbahan dasar kelapa terformulasi aditif, berhasil menunjukkan bahwa pelumas kelapa terformulasi aditif menunjukkan ketahanan aus lebih baik daripada pelumas mineral.

2.4. Uji Unjuk Kerja Pelumas 2T

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pelumas terhadap unjuk kerja mesin 2T. Oleh karena itu, pemahaman mengenai efek penggunaan pelumas terhadap unjuk kerja mesin patut diketahui.

2.4.1. Uji Performansi Mesin

Penggunaan pelumas terhadap kinerja suatu mesin dapat dilihat dari berbagai aspek, antara lain daya yang dihasilkan, beban yang dapat ditampung, konsumsi bahan bakar, dan komposisi gas buang

1) Daya

Daya 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 daya yang dapat dihasilkan lebih besar karena energi yang hilang kecil.

2) Konsumsi 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. Konsumsi bahan bakar juga dapat dikurangi dengan perubahan viskositas dan *friction modifiers*. Viskositas pelumas yang terlalu rendah mengakibatkan peningkatan konsumsi bahan bakar.

3) Komposisi Gas Buang

Selama pembakaran, elemen hidrokarbon (HC) akan bereaksi dengan oksigen membentuk H_2O dan CO_2 . 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_x karena suhu tinggi pada mesin menyebabkan nitrogen dari udara bereaksi dengan oksigen.

2.4.2. Uji *Four Ball*

Metode yang banyak digunakan untuk menguji ketahanan aus suatu pelumas adalah *four ball wear test* (ASTM D-4172). Metode ini memanfaatkan beban dan putaran pada empat buah bola. Adanya beban dan putaran tersebut menyebabkan terjadinya friksi pada bola tersebut, yang pada akhirnya menyebabkan terjadinya keausan pada bola-bola tersebut. Melalui tes ini dapat diketahui pengaruh beban terhadap keausan pelumas.

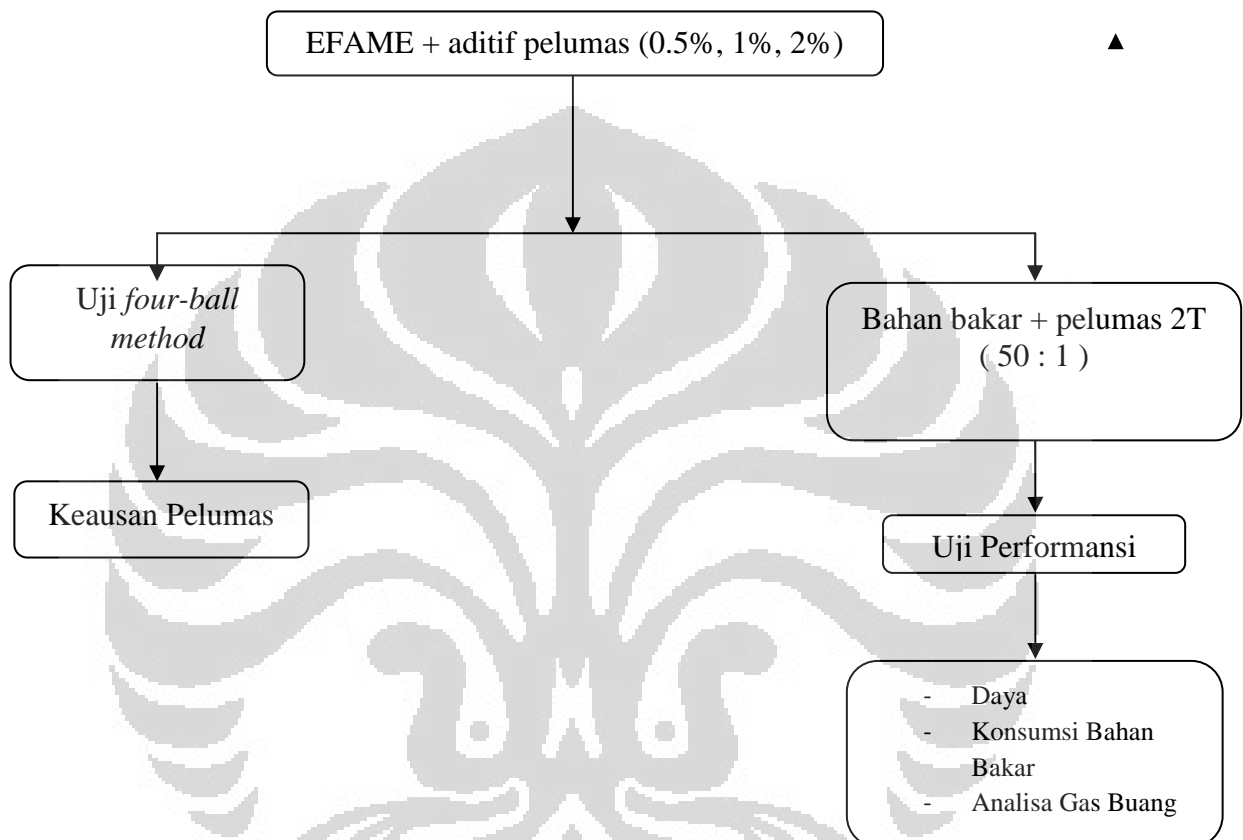
Secara garis besar, alat ini terdiri dari empat buah bola (tiga bola terletak di bawah dan satu bola di atas), dengan ukuran seragam yang direndam dengan pelumas yang diuji. Bola yang terletak di atas berputar pada putaran antara 600 – 1800 rpm dengan beban dari 0.1 – 50 kg, sedangkan ketiga bola yang terletak di bawah dipasang secara statis.

Setelah berjalan selama selang waktu tertentu maka akan terdapat luka pada bola. Luka inilah yang menjadi bahan analisis untuk mengetahui seberapa baik performa pelumas yang diuji dalam menahan friksi atau keausan. Analisis terhadap luka dapat dilakukan dengan menimbang massa bola sebelum dan sesudah berjalan sehingga dapat diketahui jumlah keausannya atau dengan cara memfoto luka menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Luka pada bola setelah berjalan difoto menggunakan SEM sehingga dapat diketahui karakteristik luka atau goresan yang terjadi. Luka pada bola bergantung pada berat beban, kecepatan putaran, lama pengujian, dan jenis pelumas yang digunakan (Mardiansyah,2007).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN

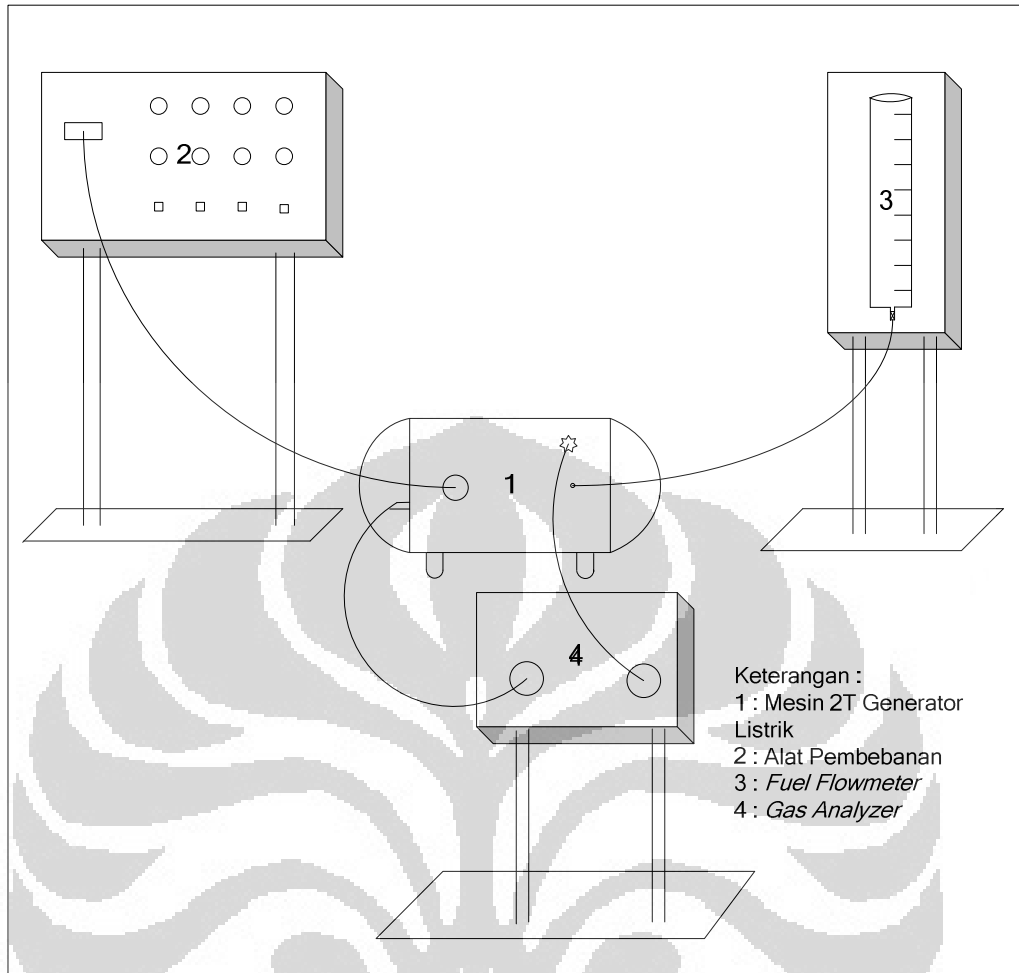


Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.2 ALAT PENGUJIAN

Pada penelitian ini terdapat dua pengujian utama, uji energi serta emisi pelumas dan uji *four-ball*. Berikut akan dijelaskan satu per satu skema alat yang digunakan.

Untuk uji energi serta emisi pelumas, berikut adalah skema peralatan yang digunakan :



Gambar 3. 2 Skema alat pengujian energi dan emisi pelumas

1. Mesin generator listrik

Model mesin generator listrik yang digunakan adalah Yamaha ET-950 yang memiliki data teknis sebagai berikut:

Tabel 3. 1. Spesifikasi Mesin Generator Yamaha ET-950

Voltase/Frekuensi	220/50
Rated Output (kVa)	0.65
Voltage Regulator	Condenser
Machine Type	MT 65
Displacement	63 cc
Fuel Tank Capacity	4.2 l
Dry Weight	20.2 kg
Dimensions (L x W x H)	365 x 308 x 376 mm
Noise Level (Db A) (7 m)	57

2. Alat pembebanan

Alat pembebanan listrik yang digunakan merupakan suatu papan yang dilengkapi dengan 5 buah lampu 100 watt dan disusun secara seri. Papan lampu ini juga dilengkapi dengan Wh meter untuk mengetahui daya yang dihasilkan oleh mesin generator.

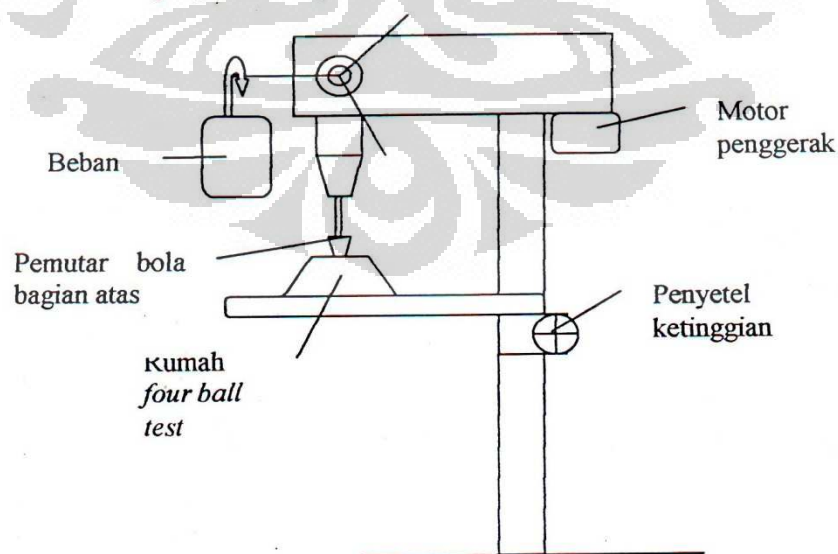
3. *Gas analyzer*

Gas analyzer digunakan untuk mengetahui komposisi gas buang yang dikeluarkan oleh mesin generator. *Gas analyzer* dapat mengukur persentase gas buang berupa hidrokarbon (HC), CO, CO₂, O₂ dan juga dapat mengukur suhu gas buang.

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.

Untuk pengujian *four ball*, berikut adalah skema alat yang digunakan :



Gambar 3. 3 Skema alat pengujian *four ball*

Satu bola bearing berukuran tertentu diletakkan pada pemutar bola bagian atas, sedang tiga bola bearing lainnya diletakkan dil dalam rumah *four ball test*. Setelah beban diletakkan, mesin akan memutar bola bagian atas dan menyebabkan keausan pada permukaan bearing.

3.3 PENYIAPAN SAMPEL

Sampel yang akan diuji pada penelitian ini adalah pelumas bio berminyak dasar EFAME (*Epoxied Fatty Acid Methyl Ester*). EFAME akan dicampur dengan aditif pelumas, pada berbagai persentase aditif. Aditif pelumas yang akan digunakan antara lain, aditif anti aus (*anti wear/AW*) komersial berbasis Fosfor, aditif tekanan ekstrim (*extreme pressure/EP*) komersial berbasis Sulfur, serta dua paket aditif PERTAMINA AP-2387 yang berisi aditif tekanan ekstrim.

Persentase (% volume) aditif pelumas yang akan ditambahkan adalah 0.5%, 1%, dan 2%. Penentuan persentase (%) aditif yang ditambahkan tersebut berdasarkan pada laporan jurnal bahwa konsentrasi optimum aditif pelumas adalah sekitar 2%. Selanjutnya pelumas tersebut akan dicampurkan ke dalam bahan bakar, dengan perbandingan bahan bakar : pelumas adalah 50:1.

Pada penelitian ini juga akan diuji pelumas sintetik mineral komersial ENVIRO 2T. Pengujian pelumas sintetik mineral tersebut bertujuan sebagai pembandingan performa bagi setiap sampel pelumas EFAME.

3.4 VARIABEL PENELITIAN

Untuk pengujian energi dan emisi pelumas, variable tetap yang digunakan adalah beban daya lampu sebesar 300 Watt, serta volume bahan bakar + pelumas sebanyak 800 mL. Sedang variable bebas yang digunakan adalah konsentrasi aditif pelumas, dan variable terukur yang digunakan adalah energi dan emisi gas buang (CO , CO_2 , NO_x , HC dan O_2) yang dihasilkan oleh mesin generator listrik.

Untuk pengujian four ball, variable tetap yang digunakan adalah beban terukur mesin four ball seberat 200 g, dan waktu pengujian (1 jam). Sedang variable bebas yang digunakan adalah konsentrasi aditif pelumas, dan variable terukur yang digunakan berat bola bearing yang hilang setelah pengujian.

3.5 PROSEDUR PENGUJIAN

Pada penelitian ini terdapat dua pengujian yang dilakukan, yaitu pengujian performa mesin menggunakan genset 2T Yamaha ET – 950 dan pengujian *four ball*. Pada pengujian performa mesin akan dilihat energi yang dihasilkan mesin, waktu konsumsi bahan bakar, dan komposisi gas buang pada pelumas. Sedangkan pada pengujian *four ball* akan dilihat jumlah keausan yang dialami setiap sampel pelumas.

Prosedur penelitian bagi uji performansi mesin 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* ke arah 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* ke arah kiri secara penuh.
4. Melakukan pemanasan mesin generator dalam waktu 5 menit. Hal ini dilakukan untuk menunggu mesin menjadi stabil.
5. Beban mesin diset tetap pada 300 watt dan direncanakan untuk menghabiskan 800 mL campuran bahan bakar + pelumas.
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.

Serta prosedur penelitian untuk pengujian *four ball* adalah sebagai berikut:

1. Membersihkan *four ball wear machine* dengan toluene.
2. Mencuci bola yang akan dijadikan bahan pengujian dengan toluene sampai bersih kemudian mengeringkan dengan drier atau membiarkannya di udara bebas beberapa saat.
3. Menimbang massa keempat bola.

4. Memasang keempat bola pada *four ball wear machine* yang telah bersih dan kering. Tiga buah dipasang di bawah (statis) dan yang satu dipasang di atas, pada bagian yang berputar.
5. Memasukkan pelumas yang akan diuji ke dalam *four ball wear machine* sampai area kontak keempat bola terendam (± 2.5 ml).
6. Mengencangkan *four ball wear machine* dengan tang dan kunci inggris kemudian meletakkan pada tempatnya.
7. Set beban sebesar 50 kg dan putaran pada 1150 rpm.
8. Menyalakan *four ball wear machine*.
9. *Running* dilakukan dengan periode waktu setiap 1 jam lalu istirahat alat selama 5 menit dengan pertimbangan keawetan mesin yang digunakan.
10. Setelah selesai, mengambil bola pada *four ball wear machine*. Membersihkan dengan toluene dan tissue, kemudian mengeringkan dan menimbanginya.
11. Penimbangan massa bola sebelum dan sesudah *running*, dilakukan untuk mengetahui massa keausan bola. Jumlah keausan bola (mg) = (massa sebelum – massa sesudah *running*).

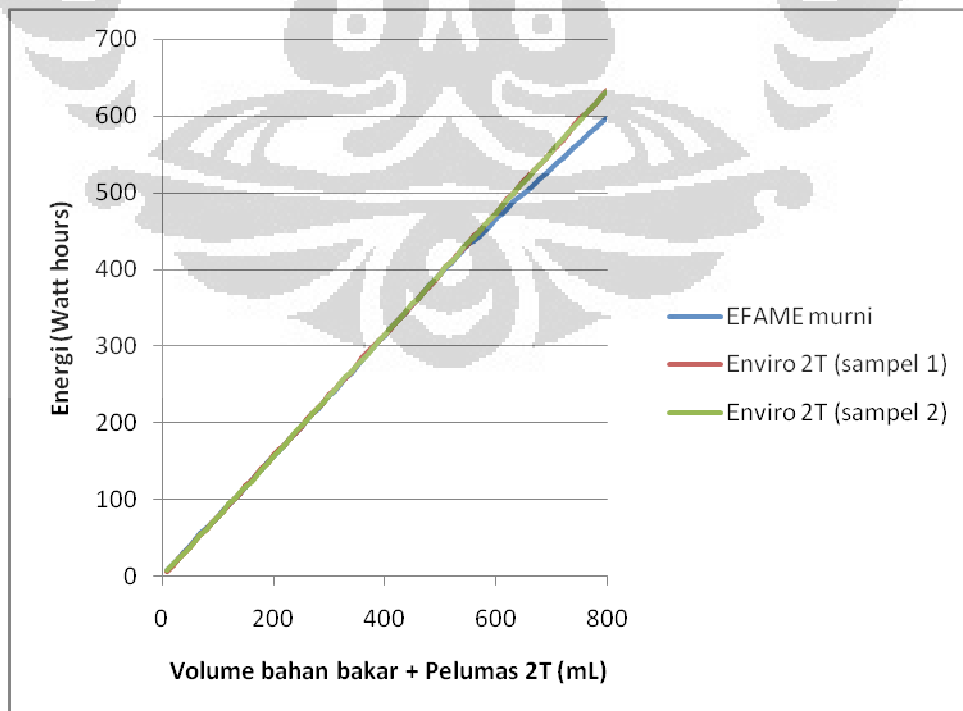
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini, akan disampaikan hasil dan analisa dari pengujian yang telah diperoleh, meliputi pengujian energi, emisi dan ketahanan aus dari EFAME sebagai pelumas 2T. EFAME yang diuji meliputi EFAME tanpa formulasi aditif dan EFAME terformulasi aditif. Aditif yang digunakan antara lain adalah aditif anti aus berbasis Fosfor, aditif tekanan ekstrim PERTAMINA (AP-2387), dan aditif tekanan ekstrim berbasis Sulfur.

4.1 HASIL PENGUJIAN EFAME TANPA FORMULASI ADITIF

Pengujian performa EFAME tanpa formulasi aditif bertujuan untuk mengetahui kelayakan EFAME untuk digunakan sebagai *base oil* (minyak dasar) pelumas. Pada pengujian pertama ini, dilakukan pula pengujian terhadap pelumas mineral komersial ENVIRO 2T sebagai pembanding terhadap performa yang dihasilkan oleh pelumas berbasis EFAME. Hasil pengujian performa energi EFAME tanpa aditif dan Enviro 2T dapat dilihat pada gambar 4.1 berikut:



Gambar 4. 1 Grafik perbandingan energi pelumas EFAME tanpa formulasi aditif dan Enviro 2T

Setelah 800 mL, genset berpelumas EFAME tanpa formulasi aditif menyebabkan energi per satuan volume sebesar 598 Wh/mL, sedangkan ENVIRO 2T menyebabkan energi sebesar 633 Wh/mL. Selama penggunaan EFAME sebagai pelumas 2T, mesin genset dapat berjalan dengan baik.

Namun, performa energi yang disebabkan oleh EFAME tanpa formulasi aditif masih dibawah ENVIRO 2T. Energi yang disebabkan oleh EFAME tanpa formulasi aditif memiliki kecenderungan yang sama dengan ENVIRO 2T hingga mencapai volume pemakaian ± 250 mL. Pada volume pemakaian selebihnya, energi yang disebabkan EFAME tanpa formulasi aditif mulai menurun. Bahkan menurun tajam pada volume ± 600 mL. Hal ini sesuai dengan pengamatan selama penelitian, dimana penggunaan genset berpelumas EFAME tanpa formulasi aditif menghasilkan suara yang sangat berisik dan panas mesin yang sangat tinggi, khususnya setelah pemakaian 1,5 jam.

EFAME merupakan pelumas nabati yang tersusun dari berbagai asam lemak, bersifat polar dan berviskositas rendah. Sedangkan ENVIRO 2T merupakan pelumas sintetik yang diperoleh dari proses *cracking hydrocarbons* fraksi berat, bersifat non-polar namun memiliki viskositas tinggi. EFAME lebih unggul dengan struktur polarnya yang mampu beradsorpsi pada permukaan logam, sehingga memiliki ketahanan aus yang lebih baik. Sedang ENVIRO 2T lebih unggul dengan viskositasnya yang lebih tinggi, sehingga mampu menahan friksi dengan lebih baik.

Secara umum, peranan friksi dalam energi output yang disebabkan oleh pelumas dapat digambarkan dalam persamaan berikut :

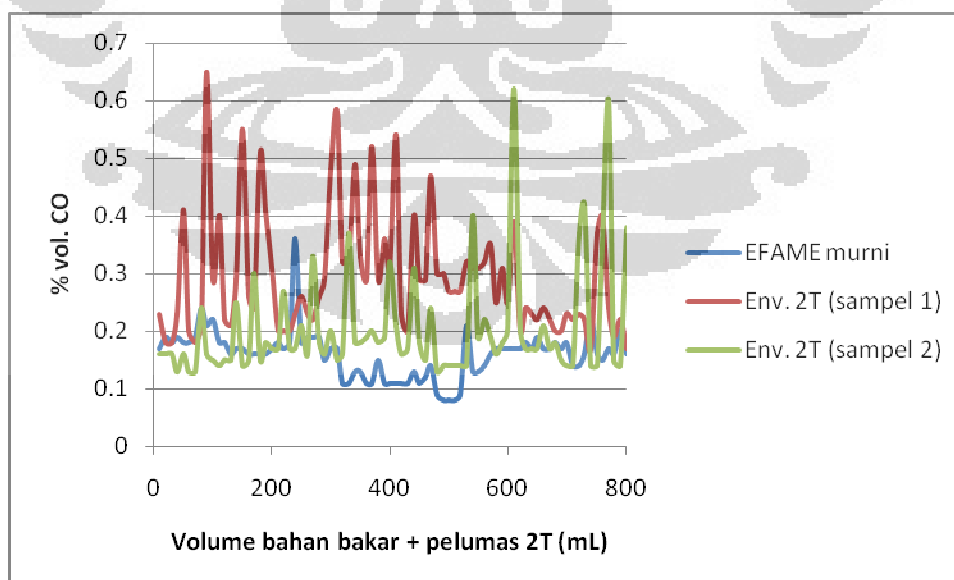
$$\begin{aligned} & \text{Energi hasil pembakaran} - \text{Energi yang hilang karena Friksi} \\ & = \text{Energi Output} \end{aligned}$$

Friksi yang dihasilkan oleh pertemuan dua permukaan logam mampu mengurangi energi yang dihasilkan oleh pembakaran. Sehingga, pelumas sangat diharapkan dapat mengurangi friksi yang terjadi antara dua permukaan logam, agar *energi output* yang dihasilkan menjadi maksimal.

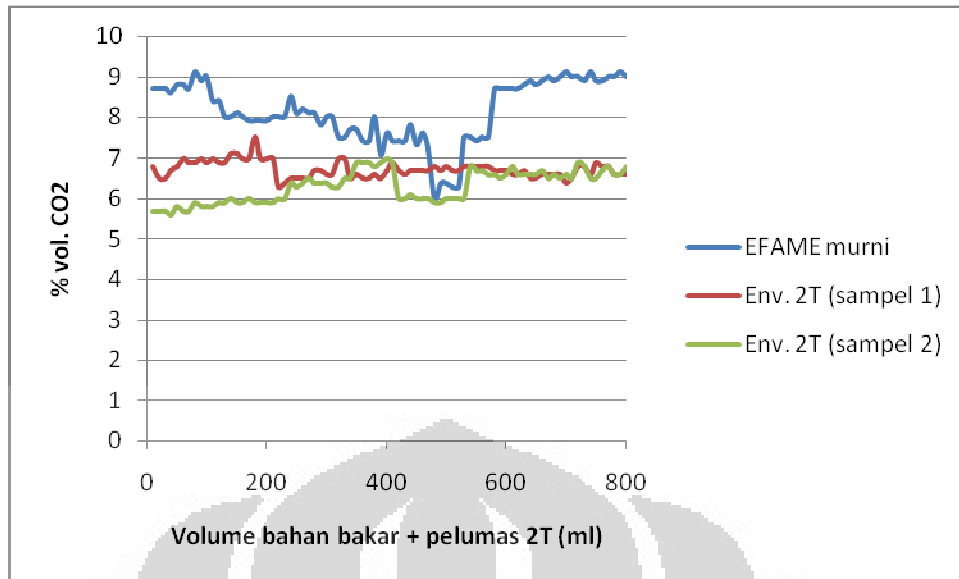
Pelumas EFAME dengan ketahanan ausnya yang lebih baik, memiliki kemampuan pelumasan batas yang lebih baik. Namun karena viskositasnya yang rendah menyebabkan setelah mesin bekerja, kemampuan pelumasan hidrodinamik EFAME menjadi rendah. Menyebabkan friksi yang dialami permukaan logam setelah mesin bekerja cukup lama menjadi besar, dan energi yang dihasilkan pembakaran pun menjadi rendah. Bahkan setelah mencapai suhu yang terlalu tinggi, EFAME akan mengalami kerusakan struktur dan menyebabkan penurunan performa mesin, seperti panas yang ditimbulkan menjadi tinggi, suara mesin menjadi sangat berisik, dan energi yang dihasilkan malah semakin menurun.

Sedangkan, pelumas komersial ENVIRO 2T meskipun memiliki struktur yang nonpolar namun memiliki viskositas yang tinggi. Sehingga setelah mesin berjalan cukup lama, kemampuan pelumasan hidrodinamik ENVIRO 2T tetap bagus. Friksi yang dialami permukaan logam menjadi kecil, dan *energi output* pun menjadi lebih besar. Namun karena strukturnya yang non-polar, mesin menjadi lebih cepat aus karena ketidakmampuan pelumas mineral untuk menempel pada permukaan logam dengan baik.

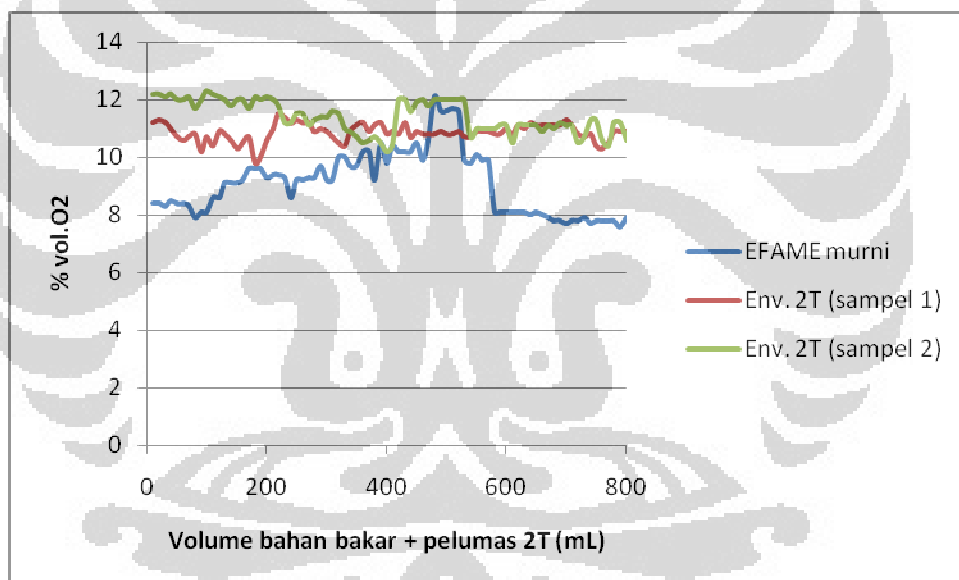
Sementara itu, kecenderungan emisi yang dihasilkan oleh pembakaran pelumas dapat dilihat pada gambar 4.2 sampai 4.6 berikut ini:



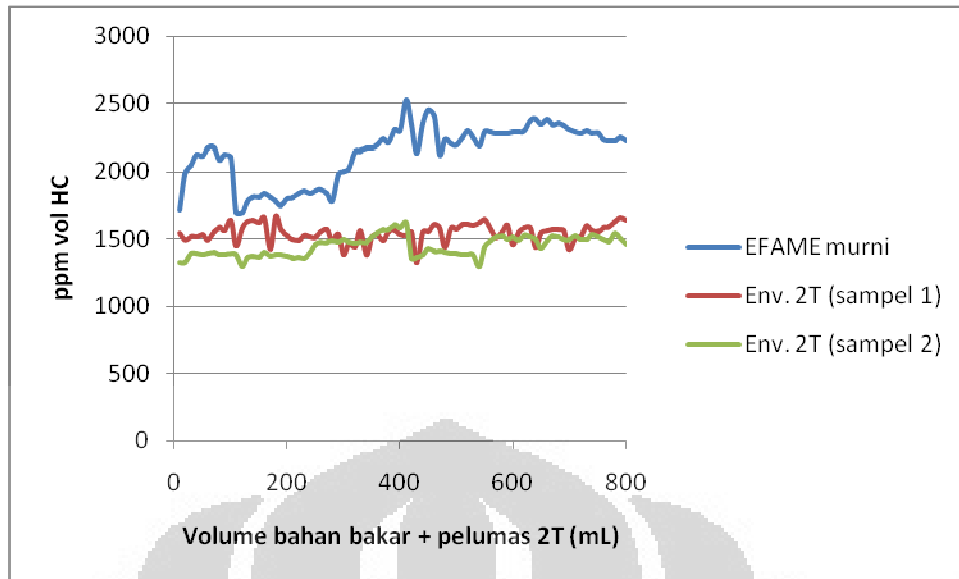
Gambar 4. 2 Grafik perbandingan emisi CO pelumas EFAME tanpa formulasi aditif dan Enviro 2T



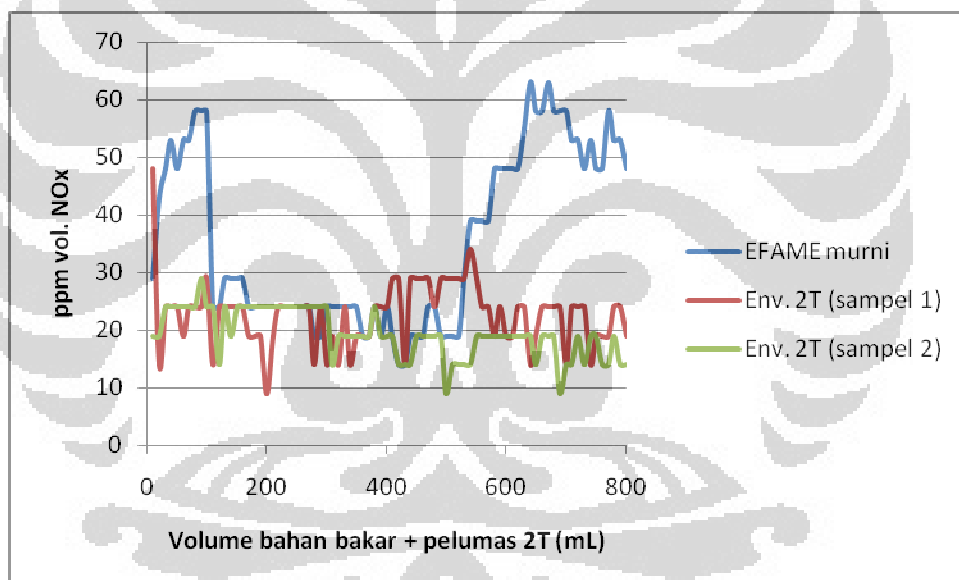
Gambar 4. 3 Grafik perbandingan emisi CO₂ pelumas EFAME tanpa formulasi aditif dan Enviro 2T



Gambar 4. 4 Grafik perbandingan emisi O₂ pelumas EFAME tanpa formulasi aditif dan Enviro 2T



Gambar 4. 5 Grafik perbandingan emisi HC pelumas EFAME tanpa formulasi aditif dan Enviro 2T



Gambar 4. 6 Grafik perbandingan emisi NOx pelumas EFAME tanpa formulasi aditif dan Enviro 2T

Dari grafik-grafik di atas, dapat diketahui bahwa emisi EFAME menghasilkan CO₂ lebih tinggi, CO lebih rendah, O₂ lebih rendah, namun HC dan NOx yang lebih tinggi dibanding ENVIRO 2T.

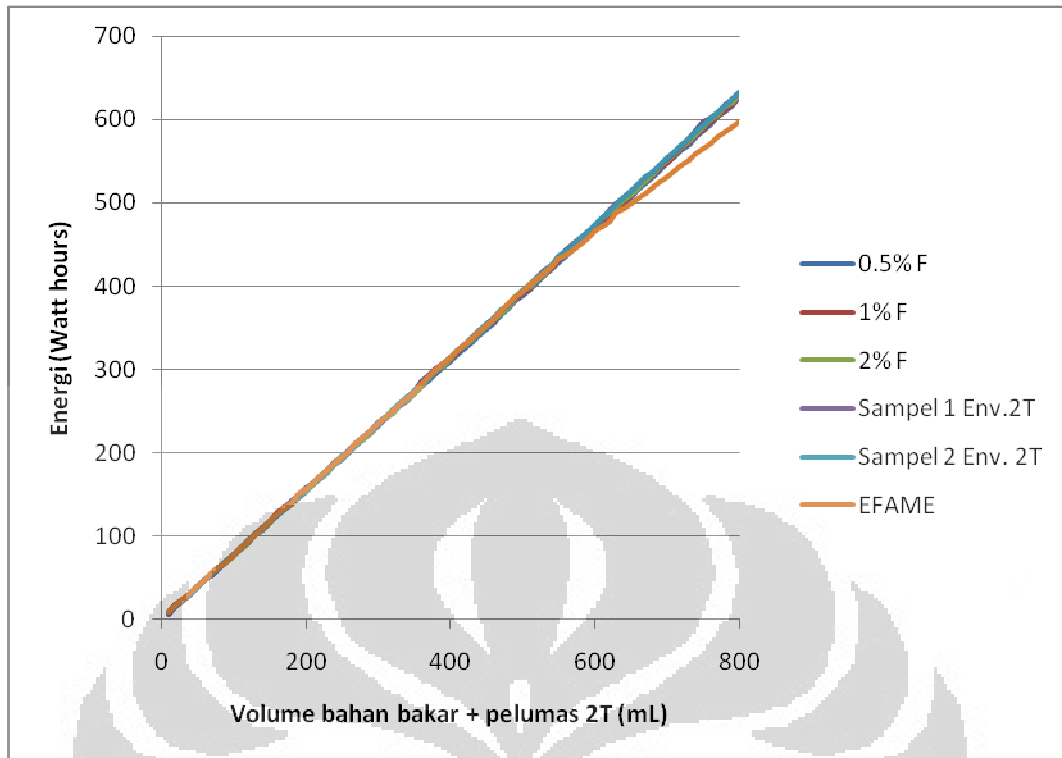
Dari emisi CO₂, CO, dan O₂ EFAME, mengindikasikan pembakaran yang lebih baik pada mesin genset. Hal ini diduga karena pengaruh rantai hidrokarbon pada EFAME yang lebih pendek serta kandungan aromatik yang tinggi pada *base oil* Enviro 2T. EFAME mengandung asam lemak dengan rantai karbon pendek

(10 – 18 karbon), sedangkan Enviro 2T mengandung hidrokarbon rantai panjang hasil proses *cracking* fraksi berat minyak bumi (35 – 40 karbon). Sehingga rantai karbon EFAME lebih mudah terbakar dibanding Enviro 2T. Serta tingginya kandungan aromatik pada Enviro 2T diduga mengakibatkan pembakaran tidak sempurna pada Enviro 2T, menghasilkan CO yang lebih tinggi, O₂ lebih tinggi, dan CO₂ lebih rendah.

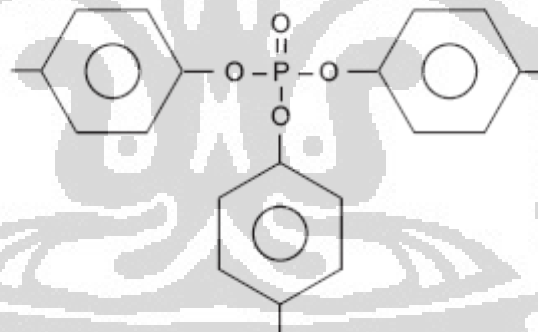
Mengenai tingginya kadar HC dan NO_x pada emisi genset berpelumas EFAME tanpa formulasi aditif kemungkinan disebabkan karena viskositas pelumas EFAME tanpa formulasi aditif yang lebih rendah dibanding pelumas mineral. Hal tersebut mengakibatkan setelah suhu mesin menjadi terlalu panas, molekul pelumas menjadi terdegradasi dan ikut terbawa keluar bersama emisi gas buang sebagai hidrokarbon yang tidak terbakar (*unburned hydrocarbon/HC*). Serta mesin yang terlalu panas, mengakibatkan nitrogen pada atmosfer menjadi bereaksi dengan oksigen hasil pembakaran menghasilkan NO_x. Nampak pada grafik, dimana setelah volume pemakaian \pm 250 - 300 mL, jumlah emisi HC menjadi meningkat drastis. Kemungkinan setelah pemakaian 250 - 300 mL tersebut, molekul EFAME mulai terdegradasi dan terbawa keluar sebagai *unburned hydrocarbon*. Mesin menjadi terlalu panas, dan peningkatan emisi NO_x terjadi.

4.2 HASIL PENGUJIAN EFAME + ADITIF FOSFOR

Aditif Fosfor komersil yang digunakan pada penelitian ini adalah *tricresylphosphate* (TCP). Struktur TCP dapat dilihat pada gambar (4.8) di bawah. Aditif ini termasuk salah satu aditif anti aus (*anti wear/AW*) yang banyak digunakan. Aditif Fosfor berwarna coklat kekuningan, berbau menyengat seperti bau hangus dan kental. Gambar 4.7 menggambarkan hasil pengujian performa energi EFAME + aditif Fosfor, disertai dengan performa Enviro 2T sebagai pembanding.



Gambar 4. 7 Grafik perbandingan energi pelumas EFAME + aditif Fosfor dan Enviro 2T



Gambar 4. 8 Struktur TCP

Dari grafik 4.7 di atas, dapat diketahui bahwa: 1) penambahan aditif Fosfor mampu menambah performa pelumasan EFAME, serta 2) energi geset berpelumas EFAME + aditif Fosfor menyebabkan energi yang nilainya kurang lebih setara dengan Enviro 2T.

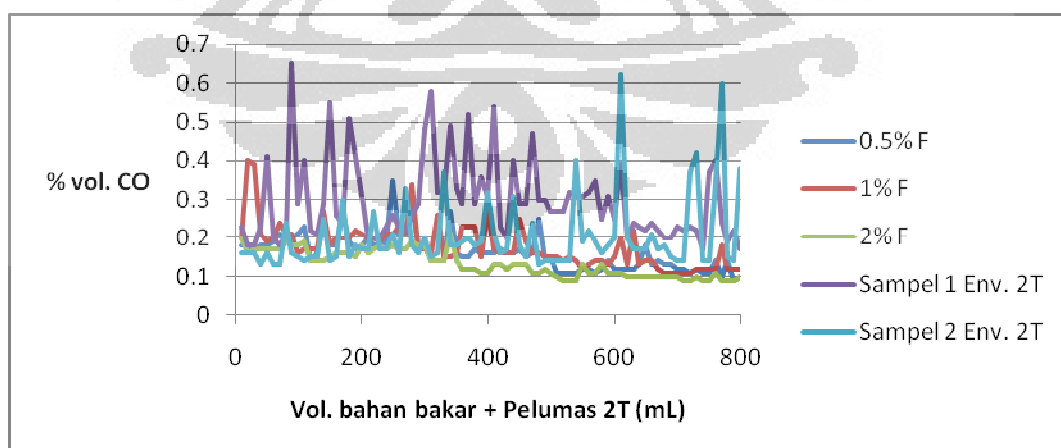
Aditif Fosfor bertindak sebagai aditif anti aus (*anti wear additives/AW*). Aditif anti aus memiliki struktur polar yang mampu membentuk lapisan-lapisan pada permukaan logam melalui mekanisme adsorpsi atau *chemisorption*. Lapisan tersebut timbul saat lapisan pelumas hidrodinamik tidak terbentuk atau hilang dari

permukaan logam sementara suhu meningkat, sehingga aditif AW akan bereaksi dengan permukaan logam membentuk lapisan khusus yang akan melindungi permukaan logam dari keausan lebih lanjut (Mang, Wilfried, 2007).

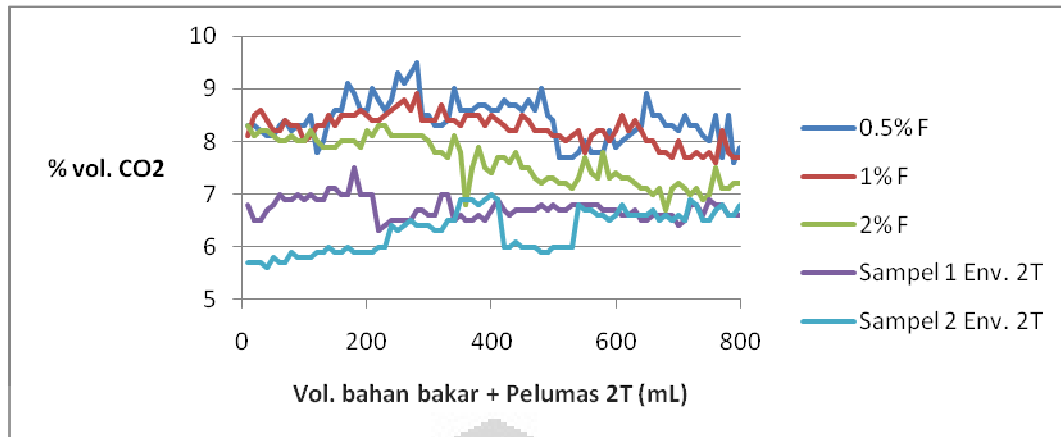
Berdasarkan percobaan sebelumnya, diketahui bahwa penggunaan EFAME sebagai pelumas 2T menyebabkan energi lebih rendah daripada Enviro 2T. Hal tersebut dikarenakan penurunan kemampuan pelumasan hidrodinamis EFAME. Dengan penambahan aditif Fosfor, ternyata energi yang disebabkan oleh EFAME menjadi bertambah bahkan hingga mampu menyamai performa energi Enviro 2T. Hal tersebut tidak lepas dari pengaruh aditif Fosfor yang mampu bereaksi dengan permukaan logam membentuk lapisan pelindung tambahan terhadap friksi, khususnya ketika pelumasan hidrodinamis minyak dasar (*base oil*) EFAME telah menurun.

Oleh karena itu, friksi yang terjadi dapat ditekan, panas yang ditimbulkan oleh EFAME murni dapat diturunkan, sehingga mesin dapat bekerja dengan maksimal. Hal ini sesuai dengan pengamatan di lapangan, bahwa genset berpelumas EFAME + aditif Fosfor berjalan dengan suara yang normal, panas yang ditimbulkan pun lebih rendah daripada panas yang dihasilkan genset berpelumas EFAME murni.

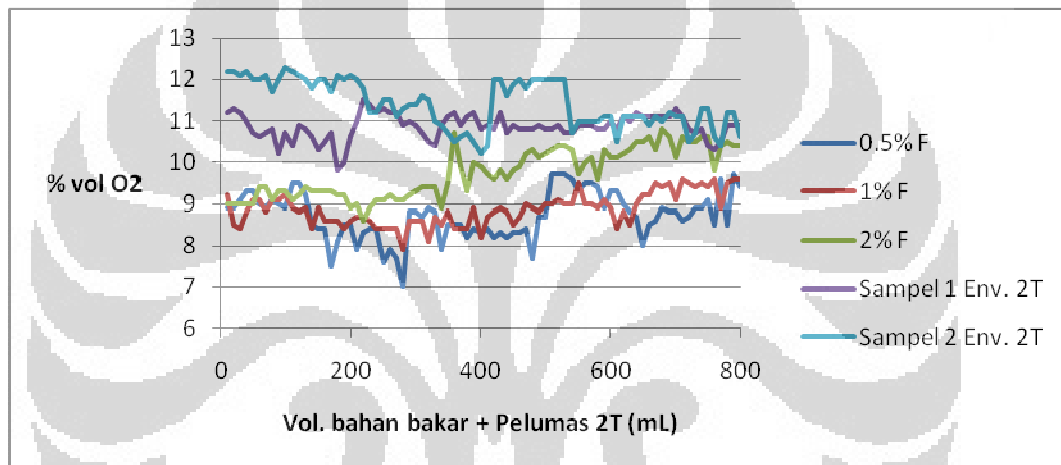
Sedangkan, kecenderungan emisi pelumas EFAME + aditif Fosfor dapat dilihat pada gambar 4.9 hingga 4.13 berikut :



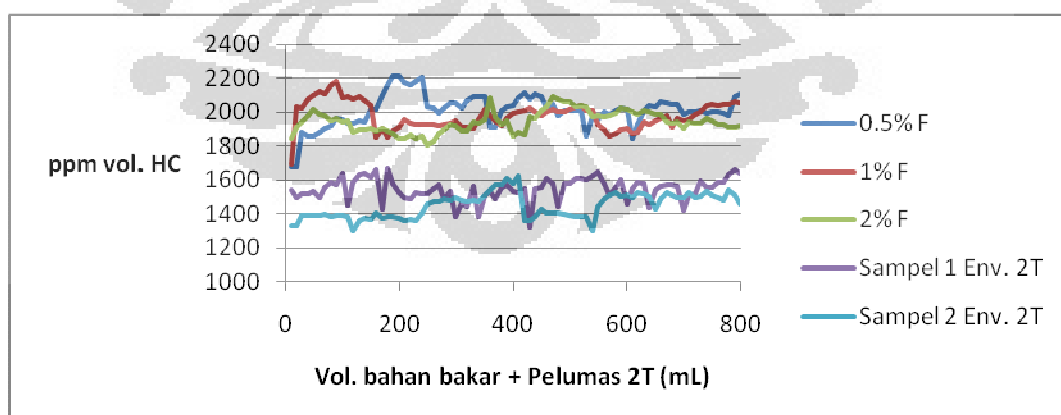
Gambar 4. 9 Grafik perbandingan emisi CO pelumas EFAME + aditif Fosfor dan Enviro 2T



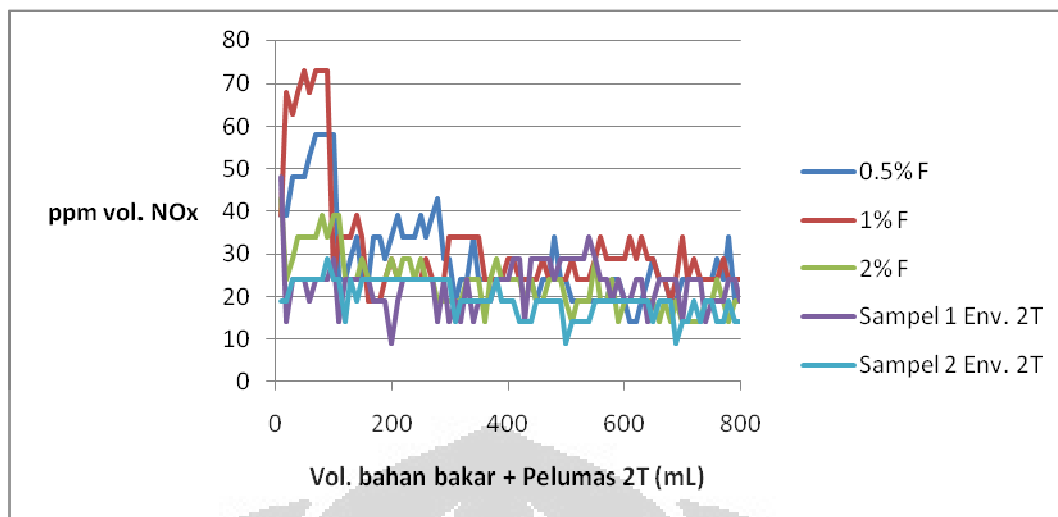
Gambar 4. 10 Grafik perbandingan emisi CO₂ pelumas EFAME + aditif Fosfor dan Enviro 2T



Gambar 4. 11 Grafik perbandingan emisi O₂ pelumas EFAME + aditif Fosfor dan Enviro 2T



Gambar 4. 12 Grafik perbandingan emisi HC pelumas EFAME + aditif Fosfor dan Enviro 2T



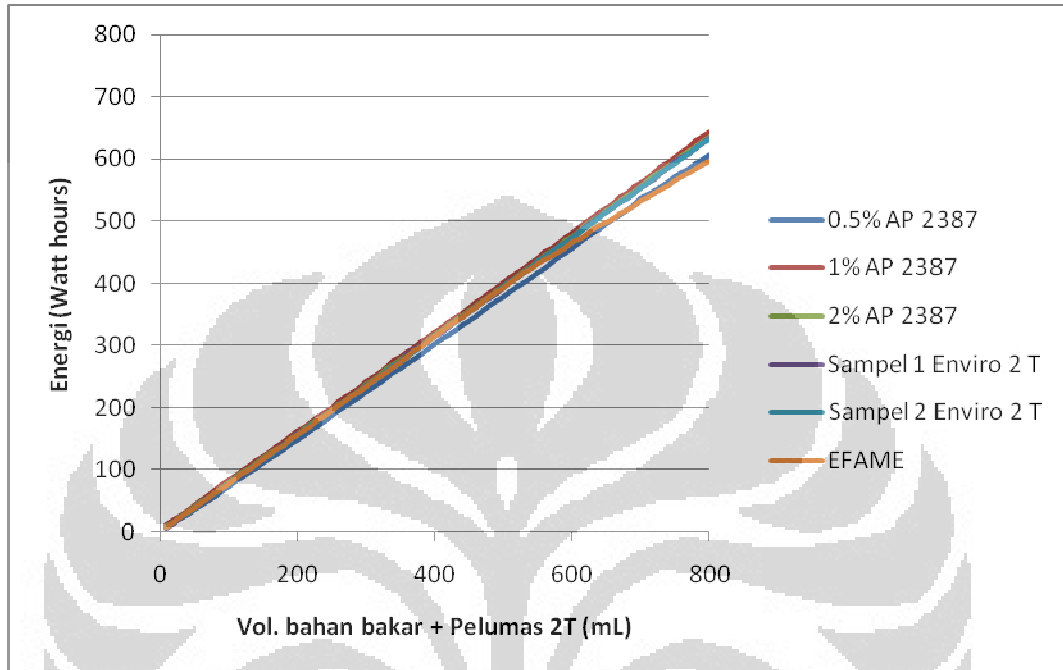
Gambar 4. 13 Grafik perbandingan emisi NOx pelumas EFAME + aditif Fosfor dan Enviro 2T

Mengenai emisi mesin genset berpelumas EFAME + aditif Fosfor, secara keseluruhan mengindikasikan pembakaran yang lebih baik dari ENVIRO 2T (emisi CO lebih rendah, CO₂ lebih tinggi, dan O₂ lebih rendah) namun menghasilkan pula emisi HC dan NOx yang lebih tinggi. Hal ini diduga karena aditif Fosfor memiliki gugus aromatik yang dapat menambah nilai kalor pembakaran pelumas EFAME. Gugus-gugus aromatik pada molekul aditif Fosfor, dapat dilihat pada gambar 4.13. di atas. Sedangkan mengenai tingginya kandungan HC dan NOx pada emisi genset berpelumas EFAME + aditif Fosfor, hal tersebut juga kemungkinan disebabkan karena sifat *base oil* EFAME yang meskipun sudah bertambah viskositas-nya dengan penambahan aditif Fosfor, namun tetap memiliki viskositas di bawah ENVIRO 2T. Sehingga sebagian *base oil* EFAME tetap teroksidasi dan terbawa keluar sebagai *unburned hydrocarbons* (HC), serta menyebabkan mesin menjadi terlalu panas dan mengakibatkan terbentuknya NOx.

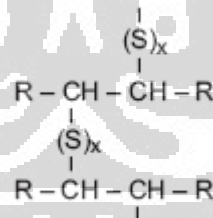
4.3 HASIL PENGUJIAN EFAME + ADITIF AP-2387

Aditif AP-2387 merupakan aditif pelumas keluaran PERTAMINA. Aditif ini berfungsi sebagai aditif tekanan ekstrim (*extreme pressure additives/EP*). Aditif ini berwarna coklat kekuningan, kental dan berbau menyengat seperti durian. Aditif ini mengandung *sulfurized hydrocarbons*. Struktur *sulfurized hydrocarbons* dapat dilihat pada gambar (4.15) dibawah. Penambahan aditif AP-2387

menyebabkan perubahan warna EFAME menjadi lebih keruh. Gambar 4.14 menggambarkan hasil pengujian performa energi EFAME + aditif Sulfur, disertai dengan performa Enviro 2T sebagai pembanding.



Gambar 4. 14 Grafik perbandingan energi pelumas EFAME + aditif AP-2387 dan Enviro 2T



Gambar 4. 15 Struktur sulfurized hydrocarbons

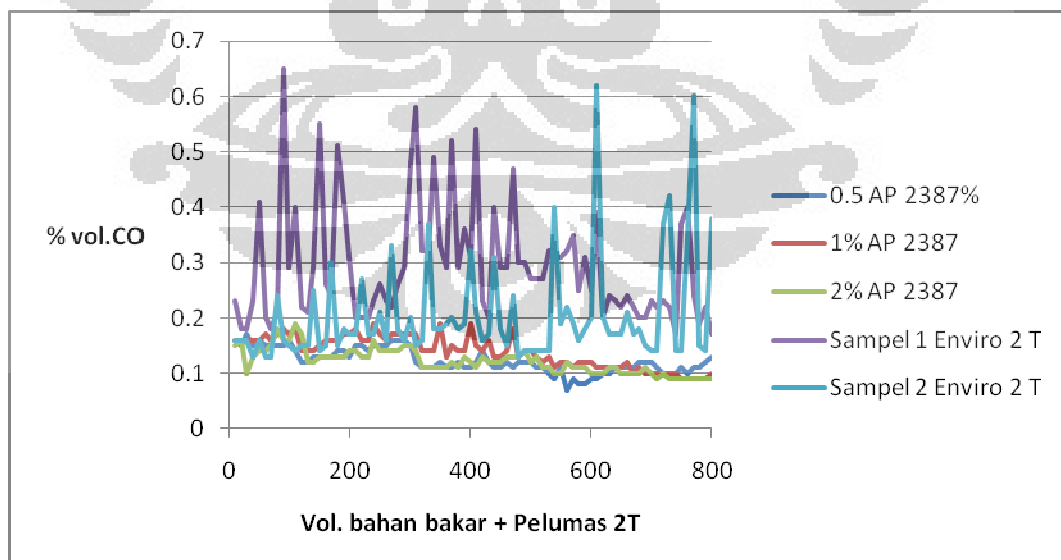
Berdasarkan grafik 4.14 di atas, dapat diketahui bahwa: 1) penambahan aditif AP-238 pada EFAME menghasilkan peningkatan energi yang disebabkan EFAME, serta 2) energi yang disebabkan oleh genset berpelumas EFAME + aditif AP-2387, kecuali pada komposisi 0.5% aditif, menyebabkan energi yang sama dengan pelumas ENVIRO 2T.

Hasil grafik 4.14 di atas menunjukkan bahwa pada komposisi 0.5% aditif, energi yang dihasilkan genset ternyata tidak berbeda jauh dengan EFAME murni.

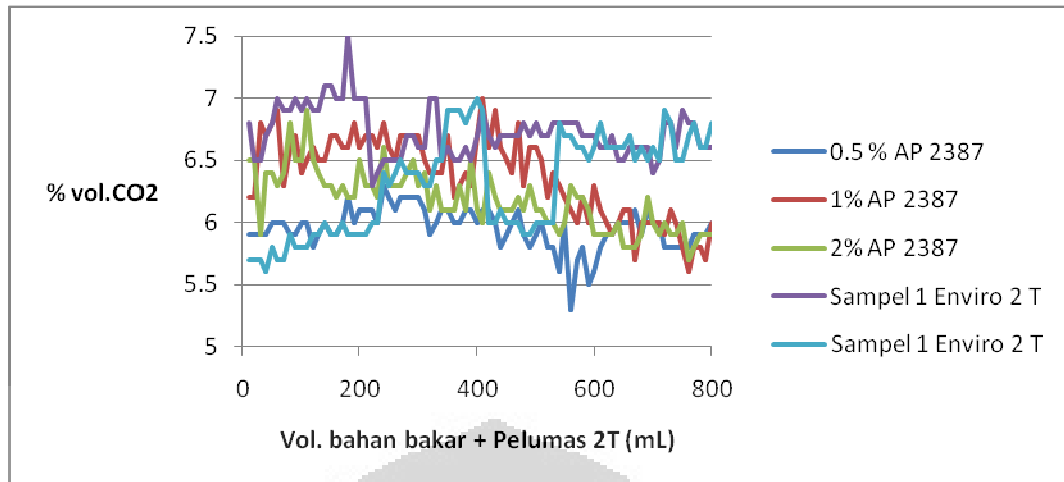
Hal ini diduga, karena pada komposisi ini pelumas yang digunakan masih terlalu encer (viskositas yang dihasilkan masih kurang). Sehingga, pelumas menjadi mudah teroksidasi, khususnya saat kemampuan pelumasan batas EFAME telah menurun. Menurunnya performa pelumasan inilah yang menyebabkan energi yang dibangkitkan menjadi rendah

Namun, pada komposisi 1% dan 2% aditif, fenomena yang terjadi justru sebaliknya. Energi yang disebabkan oleh kedua komposisi aditif tersebut ternyata mampu menyamai energi Enviro 2T. Hal ini diduga karena viskositas pelumas EFAME + aditif AP-2387 yang terjadi sudah meningkat, sehingga pelumas EFAME tidak mudah rusak dan kinerja mesin pun dapat berjalan dengan lebih optimal. Seperti aditif AW, aditif EP pada tekanan tinggi mampu menghasilkan suatu lapisan yang akan melindungi permukaan logam dari aus yang berkelanjutan. Lapisan tersebut timbul dari mekanisme reaksi kimia antara aditif pelumas dengan permukaan logam. Adanya lapisan tersebut, mampu mengurangi friksi penyebab aus, menyebabkan panas yang ditimbulkan selama mesin bekerja menjadi berkurang (Mang, Wilfried, 2007).

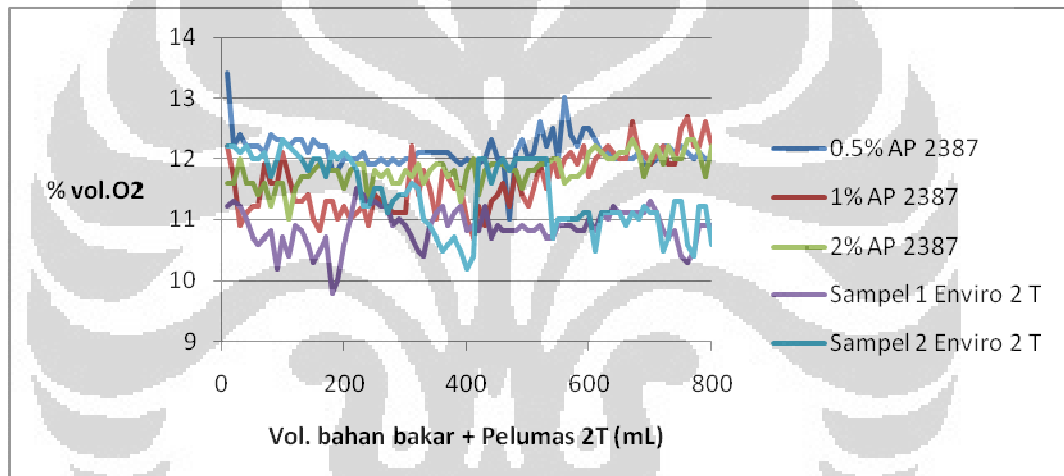
Sedangkan, kecenderungan emisi pelumas EFAME + aditif AP-2387 dapat dilihat pada gambar 4.16 hingga 4.20 berikut ini:



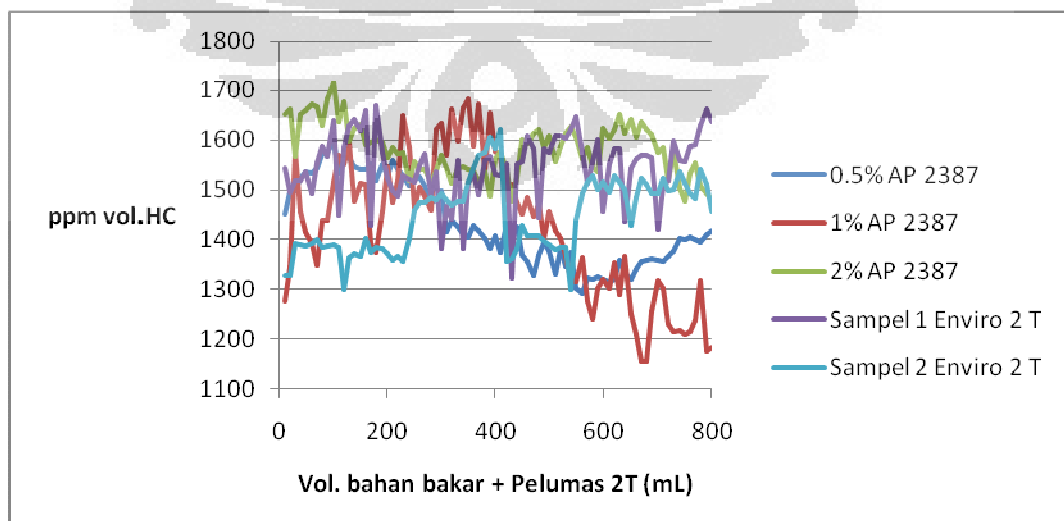
Gambar 4. 16 Grafik perbandingan emisi CO pelumas EFAME + aditif AP-2387 dan Enviro 2T



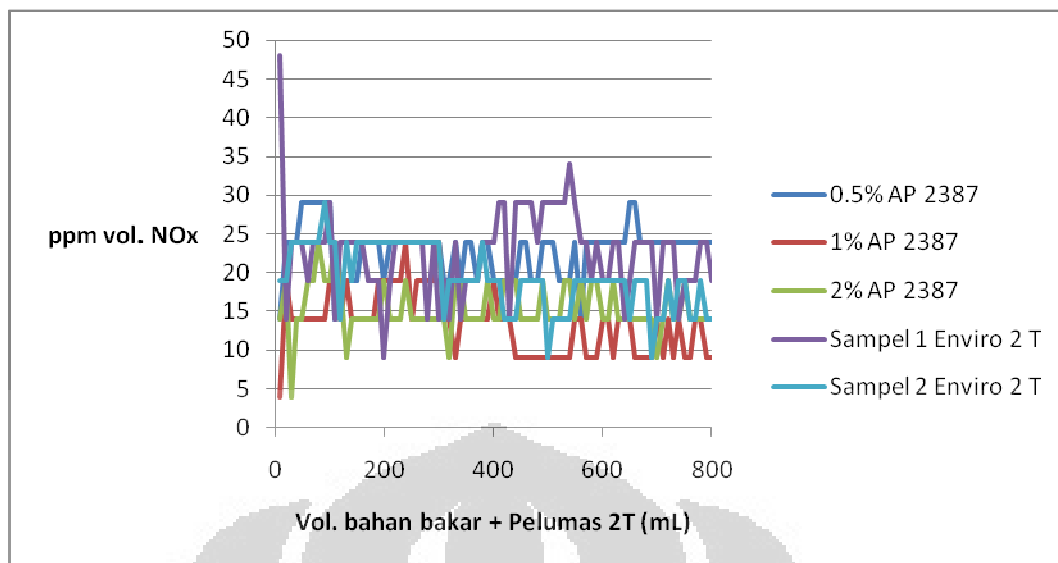
Gambar 4. 17 Grafik perbandingan emisi CO₂ pelumas EFAME + aditif AP-2387 dan Enviro 2 T



Gambar 4. 18 Grafik perbandingan emisi O₂ pelumas EFAME + aditif AP-2387 dan Enviro 2 T



Gambar 4. 19 Grafik perbandingan emisi HC pelumas EFAME + aditif AP-2387 dan Enviro 2 T



Gambar 4. 20 Grafik perbandingan emisi NOx pelumas EFAME + aditif AP-2387 dan Enviro 2T

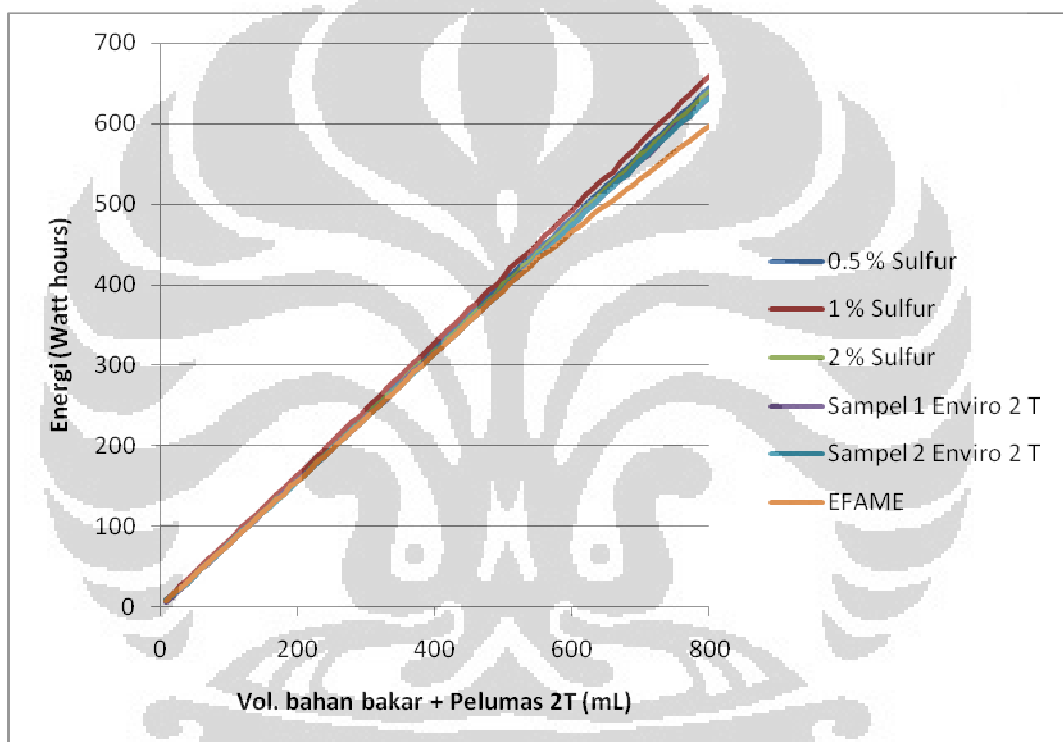
Berdasarkan grafik 4.15 hingga 4.19 dapat diketahui bahwa emisi genset berpelumas EFAME + aditif AP-2387 memiliki karakteristik yang berbeda dari emisi EFAME murni maupun Enviro 2T.

Penambahan aditif AP-2387 terbukti menyebabkan perubahan karakteristik emisi EFAME. Dari grafik 4.15 hingga 4.19 dapat diketahui bahwa emisi CO lebih rendah dari Enviro 2T. Sedang, emisi CO₂ kurang lebih sama dengan emisi CO₂ Enviro 2T, kecuali pada komposisi aditif 0.5%. Emisi O₂ lebih tinggi daripada emisi O₂ Enviro 2T. Emisi HC kurang lebih sama dengan Enviro 2T, namun emisi NO_x jauh lebih rendah dari emisi Enviro 2T.

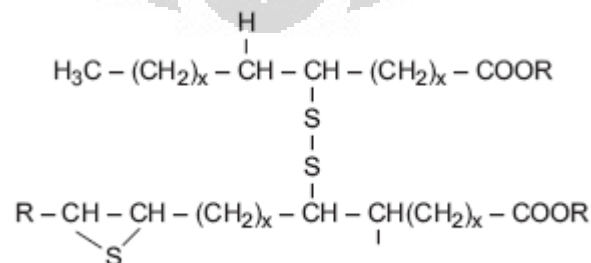
Dari grafik 4.15 hingga 4.19 di atas, dapat dilihat pula bahwa emisi CO₂ pada komposisi aditif 0.5% paling rendah dari semua sampel perbandingan. Hasil emisi O₂ pada komposisi 0.5% aditif, juga menunjukkan bahwa emisi O₂ pada komposisi 0.5% aditif paling tinggi dibanding semua sampel. Hal tersebut menunjukkan bahwa pembakaran yang terjadi pada komposisi aditif 0.5% tidak sempurna, mengindikasikan kemampuan pelumasan yang rendah. Hal tersebut sesuai dengan hasil energi pada komposisi 0.5% aditif yang menunjukkan hal yang serupa.

4.4 HASIL PENGUJIAN EFAME + ADITIF SULFUR

Aditif Sulfur komersil yang digunakan pada penelitian ini adalah *sulfurized fatty acid ester*. Struktur *sulfurized fatty acid ester* dapat dilihat pada gambar (4.22) di bawah. Aditif ini berwarna hitam, berbau menyengat seperti bau hangus, dan sangat kental (paling kental di antara ketiga aditif). Penambahan aditif Sulfur pada *base oil* EFAME mengakibatkan warna pelumas menjadi keruh. Gambar 4.21 menggambarkan hasil pengujian performa energi EFAME + aditif Sulfur, disertai dengan performa Enviro 2T sebagai pembandingan.



Gambar 4. 21 Grafik perbandingan energi pelumas EFAME + aditif Sulfur dan Enviro 2T



Gambar 4. 22 Gambar struktur *sulfurized fatty acid ester*

Berdasarkan grafik 4.20 di atas, dapat diketahui bahwa: 1) penambahan aditif Sulfur pada EFAME menghasilkan peningkatan kemampuan pelumasan EFAME, serta 2) energi yang disebabkan oleh genset berpelumas EFAME + aditif Sulfur lebih besar dibanding genset berpelumas ENVIRO 2T.

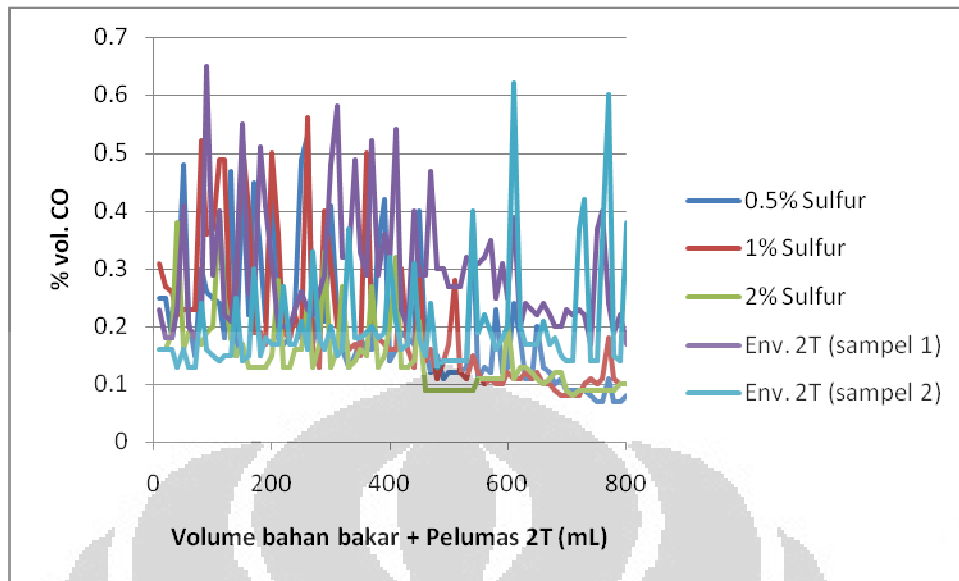
Aditif Sulfur yang digunakan merupakan *sulfurized fatty acid ester*. Aditif ini bertindak sebagai aditif tekanan ekstrim (*extreme pressure/EP*). Perbedaan utama aditif Sulfur dengan aditif AP-2387 adalah pada polaritas struktur molekulnya, dimana polaritas *sulfurized fatty acid ester* lebih besar dibanding *sulfurized hydrocarbons*. Polaritas *sulfurized fatty acid ester* yang lebih besar tersebut mengakibatkan, molekul aditif Sulfur mampu berikatan dengan permukaan logam dengan lebih baik (Mang, Wilfried, 2007).

Polaritas *sulfurized fatty acid ester* yang lebih besar dibanding *sulfurized hydrocarbons* (AP -2387) juga diduga menjadi penyebab energi yang dihasilkan oleh aditif Sulfur lebih besar dibanding Enviro 2T yang memiliki kecenderungan energi yang sama dengan aditif AP-2387.

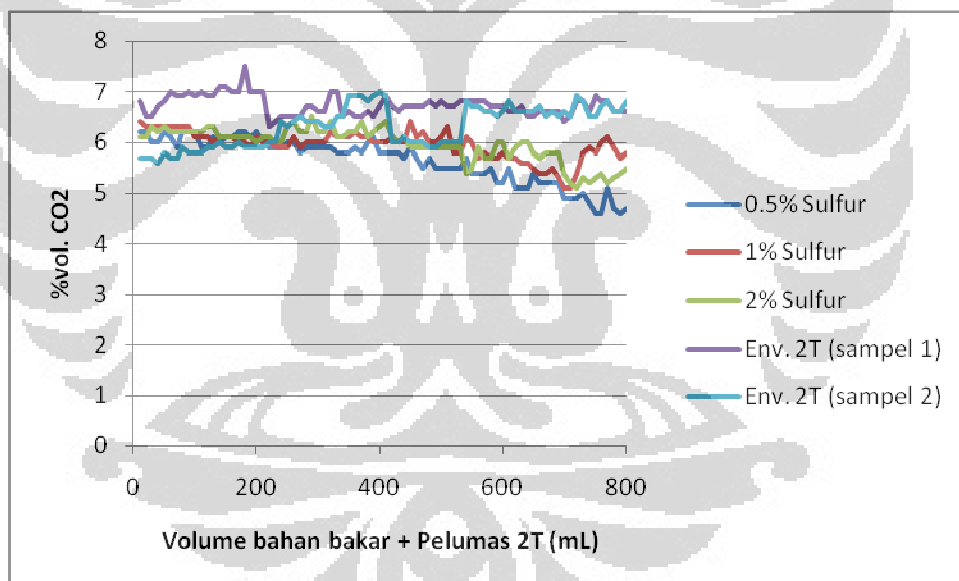
Dari grafik 4.20 dapat diketahui bahwa energi yang disebabkan oleh ketiga komposisi aditif Sulfur menghasilkan peningkatan energi yang lebih besar dibanding Enviro 2T. Berbeda dengan aditif AP-2387 yang menyebabkan energi setara dengan Enviro 2T, meskipun pada konsentrasi 0.5% justru memiliki energi dibawah Enviro 2T. Penelitian di lapangan juga menunjukkan, penggunaan pelumas EFAME + aditif Sulfur mengakibatkan mesin genset berjalan dengan baik, suara yang dihasilkan halus, tidak berisik dan macet, panas yang terjadi pun normal. Hal-hal tersebut membuktikan, kemampuan pelumasan EFAME + aditif Sulfur berjalan dengan baik.

Aditif EP pada tekanan tinggi mampu menghasilkan suatu lapisan yang akan melindungi permukaan logam dari aus yang berkelanjutan. Lapisan tersebut timbul dari mekanisme reaksi kimia antara aditif pelumas dengan permukaan logam. Adanya lapisan tersebut, mampu mengurangi friksi penyebab aus, menyebabkan panas yang ditimbulkan selama mesin bekerja menjadi berkurang (Mang, Wilfried, 2007).

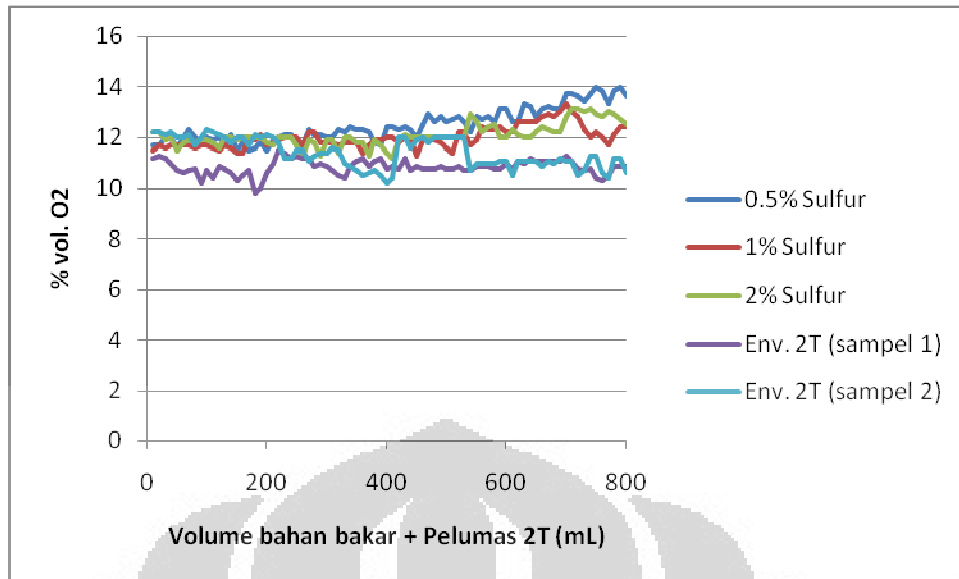
Sedangkan, kecenderungan emisi pelumas EFAME + aditif Sulfur dapat dilihat pada gambar 4.23 hingga 4.27 berikut ini:



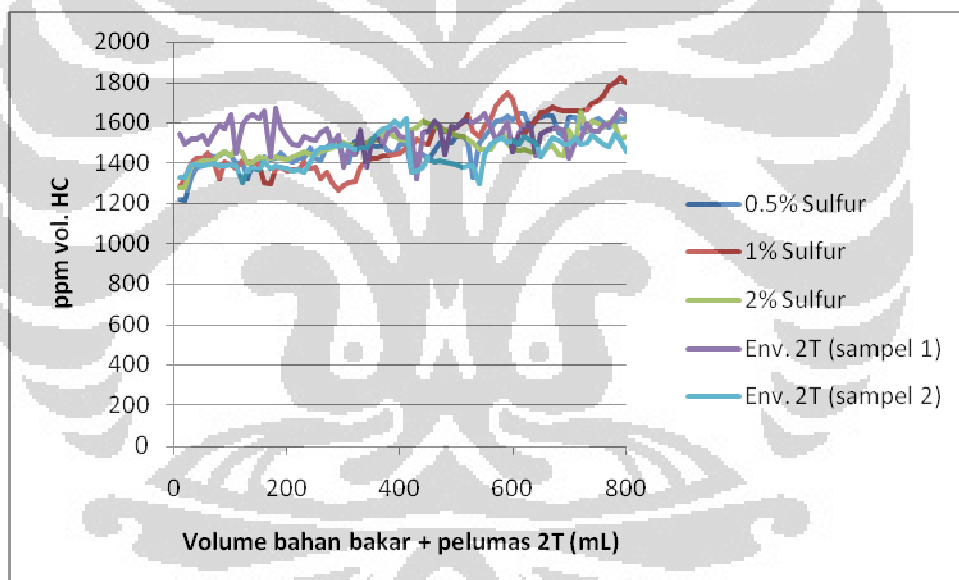
Gambar 4. 23 Grafik perbandingan emisi CO pelumas EFAME + aditif Sulfur dan Enviro 2T



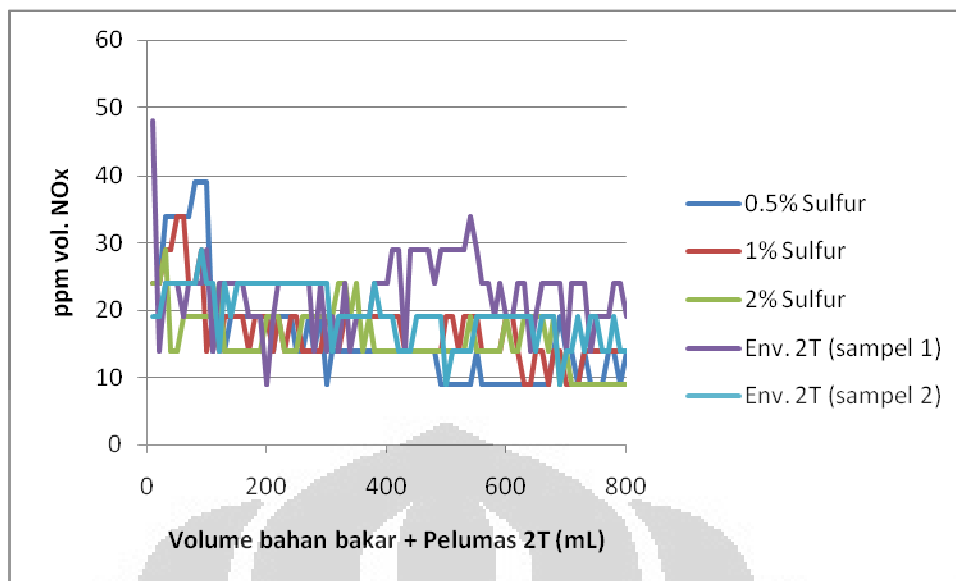
Gambar 4. 24 Grafik perbandingan emisi CO₂ pelumas EFAME + aditif Sulfur dan Enviro 2T



Gambar 4. 25 Grafik perbandingan emisi O₂ pelumas EFAME + aditif Sulfur dan Enviro 2T



Gambar 4. 26 Grafik perbandingan emisi HC pelumas EFAME + aditif Sulfur dan Enviro 2T



Gambar 4. 27 Grafik perbandingan emisi NOx pelumas EFAME + aditif Sulfur dan Enviro 2T

Serta dari grafik 4.21 hingga 4.25 dapat diketahui bahwa emisi yang dihasilkan oleh genset berpelumas EFAME + aditif Sulfur memiliki karakteristik yang berbeda dari Enviro maupun EFAME murni.

Pada segi emisi, emisi CO yang dihasilkan EFAME + aditif Sulfur lebih rendah dibanding Enviro 2T. Emisi CO₂ yang dihasilkan pun serupa, lebih rendah dibanding Enviro 2T. Emisi O₂ yang dihasilkan EFAME + aditif Sulfur lebih tinggi dibanding Enviro 2T. Dan emisi HC dan NOx yang dihasilkan EFAME + aditif Sulfur juga lebih rendah dibanding Enviro 2T.

Dari data di atas, mengindikasikan pembakaran pelumas kurang berjalan dengan lancar. Hal ini diduga karena meskipun kandungan Sulfur membantu pelumasan mesin namun kandungan Sulfur juga diduga mampu menimbulkan terbentuknya Sulfur dioksida (SO₂). Terbentuknya SO₂ inilah yang diduga menjadi penyebab terjadinya pembakaran pelumas yang kurang sempurna.

4.4 HASIL PENGUJIAN FOUR BALL

Pengujian *four ball* bertujuan untuk mengetahui ketahanan aus pelumas. Pada pengujian ini, dilakukan pengujian *four ball* terhadap EFAME murni, serta EFAME + aditif pelumas (baik Sulfur, Fosfor, maupun AP – 2387). Tidak lupa dilakukan pula pengujian terhadap pelumas komersial ENVIRO 2T sebagai pembanding ketahanan aus pelumas sintetik mineral. Tabel 4.1 berikut

menggambarkan hasil pengujian *four ball* EFAME, EFAME + berbagai aditif, dan ENVIRO 2T :

Tabel 4. 1. Data hasil pengujian *four ball* EFAME, EFAME + berbagai aditif, dan ENVIRO 2T.

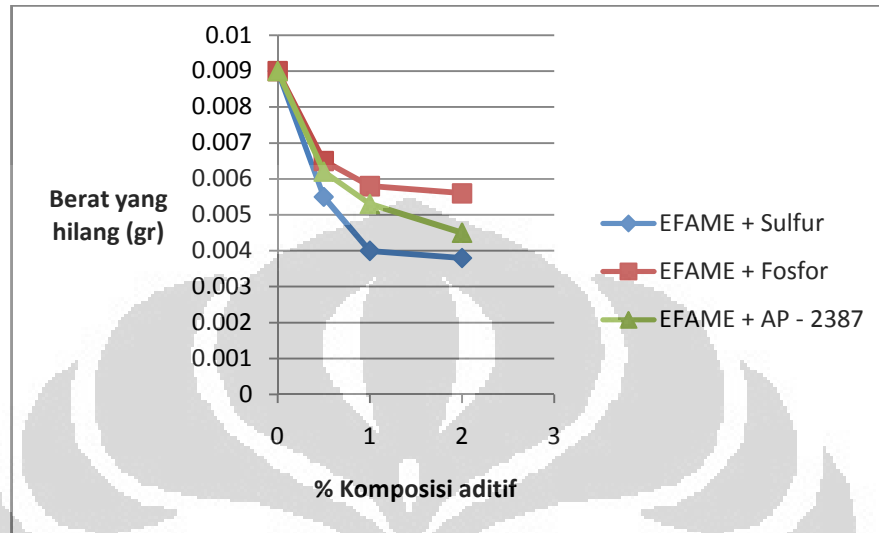
Tipe Pelumas	Berat yang hilang (mg)	Tipe Pelumas	Berat yang hilang (mg)
Enviro 2T	10.85	EFAME + 0.5% aditif Fosfor	6.5
EFAME	9	EFAME + 1% aditif Fosfor	5.8
		EFAME + 2% aditif Fosfor	5.6
Tipe Pelumas	Berat yang hilang (mg)	Tipe Pelumas	Berat yang hilang (mg)
EFAME + 0.5 % aditif Sulfur	5.5	EFAME + 0.5% aditif AP - 2387	6.2
EFAME + 1% aditif Sulfur	4	EFAME + 1% aditif AP - 2387	5.3
EFAME + 2% aditif Sulfur	3.8	EFAME + 2% aditif AP - 2387	4.5

Tabel 4.1 memberikan data hasil pengujian *four ball* EFAME, EFAME + berbagai aditif, dan Enviro 2T. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa, EFAME sebagai pelumas nabati menghasilkan pengurangan berat yang lebih sedikit dibandingkan Enviro 2T sebagai pelumas sintetik mineral. Hal tersebut mengindikasikan bahwa EFAME memiliki ketahanan aus yang lebih baik dari Enviro 2T.

Ketahanan aus yang lebih baik pada EFAME tersebut dikarenakan kandungan asam lemak pada EFAME yang bersifat polar sehingga mampu beradsorpsi pada permukaan logam dengan lebih baik, dibanding kandungan rantai hidrokarbon pada pelumas sintetik mineral Enviro 2T yang bersifat non-polar sehingga tidak dapat beradsorpsi pada permukaan logam. Kemampuan EFAME untuk beradsorpsi tersebut mengakibatkan lapisan molekular yang melapisi dan melindungi permukaan logam menjadi lebih tebal.

Dari tabel 4.1 juga dapat diketahui bahwa penambahan aditif pada EFAME semakin mengurangi berat *bearing* yang hilang akibat pengujian *four ball*. Aditif pelumas tersebut bekerja dengan cara menambah sifat ketahanan aus pelumas. Aditif pelumas yang digunakan merupakan aditif *anti wear* (Fosfor)

serta aditif *extreme pressure* (Sulfur dan AP – 2387). Kedua jenis aditif tersebut dapat menimbulkan suatu reaksi kimia dengan permukaan logam, menghasilkan lapisan khusus yang akan melindungi permukaan logam dari keausan lebih lanjut.



Gambar 4. 28 Grafik perbandingan ketahanan aus pelumas EFAME + berbagai aditif

Gambar 4.28 menggambarkan *trendline* pengurangan berat pada penggunaan EFAME + aditif. Semakin besar komposisi aditif, semakin sedikit pengurangan berat yang terjadi. Dari ketiga *trendline* di atas, dapat dilihat pula bahwa setelah komposisi aditif tertentu, pengurangan berat yang terjadi tidak terlalu signifikan. Hal tersebut disebabkan karena konsentrasi aditif pada kisaran tersebut telah mencapai angka optimum (Jayadas,2007). Sehingga bila sejumlah aditif terus ditambahkan, jumlah berat *bearing* yang hilang tidak akan meningkat drastis.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan pada penelitian serta hasil yang diperoleh, maka dapat disusun beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- a. EFAME tanpa aditif dapat digunakan sebagai *base oil* (minyak dasar) pelumas 2T, terbukti dari pengujian sebanyak 800 mL, mesin genset dapat berjalan dengan lancar.
- b. EFAME tanpa aditif menyebabkan output energi hampir menyamai pelumas mineral komersial, dan EFAME terformulasi aditif menyebabkan output energi setara dengan pelumas mineral komersial.
- c. Baik EFAME dengan maupun tanpa formulasi aditif menghasilkan ketahanan aus lebih baik daripada pelumas mineral komersial.
- d. EFAME tanpa aditif mengindikasikan emisi pembakaran yang lebih sempurna daripada pelumas mineral komersial, namun penambahan aditif tidak menimbulkan perbaikan emisi yang dihasilkan EFAME.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 'How Two-stroke Engines Work'.
<http://science.howstuffworks.com/two-stroke.htm> . Diakses 21 Maret 2008).
- Caines,A., & Haycook, R.F. (1996). *Automotive Lubricants Reference Book*, Warrendale USA, Society of Automotive Engineers, Inc.
- Fenjery,Y. (2006). *Pembuatan dan Karakterisasi EPOME Gliserol dan EPOME Monoalkohol sebagai Pelumas Foodgrade*, Skripsi, Depok, Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia.
- Fessenden & Fessenden. (1999). *Kimia Organik; jilid 1*, Indonesia, Penerbit Erlangga.
- Fessenden & Fessenden. (1999). *Kimia Organik; jilid 2*, Indonesia, Penerbit Erlangga.
- Hamzirwan, 'Menyiapkan Benteng Penangkis Tsunami Krisis Pangan'. *Harian Kompas* hal. 21. (25 April 2008).
- Jayadas, N.H. et al..(2007). 'Tribological Evaluation of Coconut Oil as an Environment-Friendly Lubricant'. *Elsevier Journal of Tribology International*, 40 350-354.
- Lansdown, A.R. (1982). *Lubrication, a Practical Guide to Lubricant Selection; 1st edition*, UK, Pergamon Press.
- Mang, Theo & Dresel, Wilfried. (2007). *Lubricants and Lubrication*, Weinheim German, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.
- Mardiansyah, Dizi. (2007). *Penggunaan EFAME Gliserol (Pelumas Bio) dan Minyak Mineral sebagai Base Oil pada Pembuatan Gemuk Bio*, Skripsi, Depok, Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia.
- Masjuki, H.H et al..(1999). 'Palm Oil and Mineral Oil Based Lubricants-Their Tribological and Emission Performance', *Elsevier Journal of Tribology International*, 32, 305-314.
- Mercurio, Philip et al..(2003). 'Testing the Ecotoxicology of Vegetable versus Mineral Based Lubricating Oils : 1. Degradation Rates using Tropical

- Marine Microbes' *Elsevier Journal of Environmental Pollution*, 129 165-173.
- Mercurio, Philip et al..(2003). 'Testing the Ecotoxicology of Vegetable versus Mineral Based Lubricating Oils : 2. Induction of Mixed Function Oxidase Enzymes in Barramundi, *Lates Calcarifer*, a topical fish species'. *Elsevier Journal of Environmental Pollution*, 129 175-182.
- Mercurio, Philip et al..(2003). 'Testing the Ecotoxicology of Vegetable versus Mineral Based Lubricating Oils : 3. Coral Fertilization and Adult Corals'. *Elsevier Journal of Environmental Pollution*, 129 183-194.
- Prasetyo, Wegik Dwi. (2008). *Studi Awal Pemanfaatan EFAME Gliserol sebagai Minyak Dasar Pelumas Mesin 2T*, Skripsi, Depok, Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia.
- Sivasankaran, G.A. et al..(1988). 'Jojoba-Oil-Based Two-Stroke Gasoline Engine Lubricant'. *Elsevier Journal of Tribology International*, 21 327-333.
- Sumarsono, Adi. (2007). *Pembuatan Pelumas Bio (EFAME Gliserol) dari RBDPO Olein dalam Skala Pilot*, Skripsi, Depok, Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia.

LAMPIRAN

EFAME tanpa aditif; 300 Watt; Vol. awal 980 mL

V	V.real	CO	CO2	HC	O2	NOx	t	Wh
970	10	0.17	8.7	1717	8.4	29	0:01:37	8
960	20	0.19	8.7	1984	8.4	43	0:03:20	17
950	30	0.18	8.7	2051	8.3	48	0:04:46	24
940	40	0.19	8.6	2126	8.5	53	0:06:24	32
930	50	0.18	8.8	2117	8.4	48	0:07:54	40
920	60	0.18	8.8	2176	8.4	53	0:09:34	48
910	70	0.19	8.7	2177	8.3	53	0:11:09	56
900	80	0.24	9.1	2090	7.9	58	0:12:39	63
890	90	0.21	8.9	2129	8.1	58	0:13:53	69
880	100	0.22	9	2105	8.1	58	0:15:34	78
870	110	0.18	8.4	1698	8.6	24	0:17:11	86
860	120	0.18	8.4	1697	8.6	24	0:18:47	94
850	130	0.16	8	1784	9.1	29	0:20:16	101
840	140	0.17	8	1814	9.1	29	0:21:43	109
830	150	0.17	8.1	1813	9.1	29	0:23:26	117
820	160	0.16	8	1840	9.2	29	0:25:00	125
810	170	0.16	7.9	1813	9.6	24	0:26:33	133
800	180	0.16	7.9	1787	9.6	24	0:27:56	140
790	190	0.16	7.9	1751	9.6	24	0:29:58	150
780	200	0.17	7.9	1802	9.3	24	0:31:12	156
770	210	0.18	8	1808	9.4	24	0:32:44	164
760	220	0.17	8	1837	9.4	24	0:34:17	171
750	230	0.18	8	1855	9.3	24	0:35:59	180
740	240	0.36	8.5	1844	8.6	24	0:37:25	187
730	250	0.18	8.1	1863	9.2	24	0:38:59	195
720	260	0.19	8.2	1871	9.2	24	0:40:38	203
710	270	0.19	8.1	1843	9.3	24	0:42:14	211
700	280	0.19	8.1	1787	9.3	19	0:43:47	219
690	290	0.15	7.8	1979	9.7	19	0:45:24	227
680	300	0.17	8	1998	9.2	24	0:46:55	235
670	310	0.17	8	2023	9.2	24	0:48:28	242
660	320	0.11	7.5	2147	10	24	0:49:59	250
650	330	0.11	7.5	2149	10	24	0:51:35	258
640	340	0.13	7.7	2168	9.7	24	0:53:02	265
630	350	0.13	7.7	2173	9.7	24	0:54:46	274
620	360	0.11	7.4	2190	10.2	19	0:56:27	282
610	370	0.11	7.4	2240	10.2	19	0:58:14	291
600	380	0.15	8	2210	9.2	24	0:59:46	299
590	390	0.11	7.1	2309	10.5	19	1:01:14	306

580	400	0.11	7.6	2294	9.8	24	1:02:47	314
570	410	0.11	7.4	2529	10.4	19	1:04:30	323
560	420	0.11	7.4	2345	10.2	14	1:06:04	330
550	430	0.11	7.4	2134	10.2	14	1:07:40	338
540	440	0.13	7.8	2350	10.2	19	1:09:09	346
530	450	0.11	7.3	2449	10.5	19	1:10:40	353
520	460	0.12	7.6	2398	9.9	19	1:12:13	361
510	470	0.14	7.2	2122	10.6	24	1:13:57	370
500	480	0.09	6	2234	12.1	24	1:15:40	378
490	490	0.08	6.4	2205	11.6	19	1:17:15	386
480	500	0.08	6.4	2194	11.6	19	1:18:32	393
470	510	0.08	6.3	2252	11.7	19	1:20:21	402
460	520	0.09	6.3	2294	11.6	19	1:21:48	409
450	530	0.21	7.5	2252	9.9	29	1:23:19	417
440	540	0.13	7.5	2185	9.8	39	1:24:46	424
430	550	0.13	7.4	2290	10.1	39	1:26:31	433
420	560	0.14	7.5	2285	9.9	39	1:27:29	437
410	570	0.16	7.5	2278	9.9	39	1:28:48	444
400	580	0.17	8.7	2280	8.1	48	1:30:02	450
390	590	0.17	8.7	2281	8.1	48	1:31:24	457
380	600	0.17	8.7	2285	8.1	48	1:33:19	467
370	610	0.17	8.7	2286	8.1	48	1:34:17	471
360	620	0.17	8.7	2292	8.1	48	1:35:36	478
350	630	0.18	8.8	2373	8.1	55	1:37:33	488
340	640	0.17	8.9	2383	8	63	1:38:39	493
330	650	0.19	8.8	2347	8.1	58	1:39:43	499
320	660	0.17	8.9	2378	8	58	1:40:57	505
310	670	0.17	9	2342	7.9	63	1:42:18	512
300	680	0.18	8.9	2355	7.8	58	1:43:46	519
290	690	0.17	9	2331	7.8	58	1:44:53	524
280	700	0.18	9.1	2308	7.7	58	1:46:23	532
270	710	0.14	9	2291	7.8	53	1:47:38	538
260	720	0.14	9	2282	7.8	53	1:49:02	545
250	730	0.16	8.9	2300	7.9	48	1:50:15	551
240	740	0.22	9.1	2279	7.7	53	1:51:40	558
230	750	0.16	8.9	2280	7.8	48	1:52:59	565
220	760	0.15	8.9	2228	7.8	48	1:54:18	572
210	770	0.17	9	2220	7.8	58	1:55:39	578
200	780	0.16	9	2225	7.8	53	1:56:52	584
190	790	0.2	9.1	2250	7.6	53	1:58:14	591
180	800	0.16	9	2217	7.9	48	1:59:30	598

Sampel 1 PERTAMINA Enviro 2T ; 300 Watt; 980 mL

V	V.real	CO	CO2	HC	O2	NOx	t	Wh
970	10	0.23	6.8	1544	11.2	48	0:01:14	6
960	20	0.18	6.5	1495	11.3	14	0:02:55	15
950	30	0.18	6.5	1519	11.2	24	0:04:28	22
940	40	0.23	6.7	1517	11	24	0:05:58	30
930	50	0.41	6.8	1535	10.7	24	0:07:40	38
920	60	0.2	7	1493	10.6	19	0:09:19	47
910	70	0.18	6.9	1553	10.7	24	0:10:49	54
900	80	0.21	6.9	1586	10.8	24	0:12:14	61
890	90	0.65	7	1567	10.2	24	0:13:58	70
880	100	0.29	6.9	1638	10.7	29	0:15:29	77
870	110	0.4	7	1449	10.4	14	0:17:02	85
860	120	0.22	6.9	1585	10.9	24	0:18:34	93
850	130	0.21	6.9	1628	10.8	24	0:20:09	101
840	140	0.29	7.1	1640	10.6	24	0:21:39	108
830	150	0.55	7.1	1619	10.3	24	0:23:28	117
820	160	0.26	7	1658	10.5	24	0:24:54	125
810	170	0.24	7	1427	10.7	19	0:26:45	134
800	180	0.51	7.5	1669	9.8	19	0:28:26	142
790	190	0.41	7	1575	10	19	0:29:45	149
780	200	0.31	7	1522	10.6	9	0:31:30	158
770	210	0.2	7	1496	11	19	0:32:49	164
760	220	0.2	6.3	1488	11.5	24	0:34:18	172
750	230	0.2	6.4	1529	11.4	24	0:35:51	179
740	240	0.23	6.5	1520	11.2	24	0:37:27	187
730	250	0.26	6.5	1515	11.3	24	0:39:04	195
720	260	0.23	6.5	1549	11.2	24	0:40:49	204
710	270	0.22	6.5	1571	11.2	24	0:42:17	211
700	280	0.26	6.7	1491	10.9	14	0:43:55	220
690	290	0.29	6.7	1536	11	24	0:45:18	227
680	300	0.48	6.6	1381	10.9	14	0:47:09	236
670	310	0.58	6.6	1466	10.7	19	0:48:32	243
660	320	0.32	7	1441	10.5	14	0:50:10	251
650	330	0.32	7	1560	10.4	24	0:51:33	258
640	340	0.49	6.5	1381	10.9	14	0:53:16	266
630	350	0.33	6.6	1512	11.1	19	0:54:52	274
620	360	0.29	6.5	1533	11.2	19	0:57:00	285
610	370	0.52	6.5	1490	10.9	19	0:58:41	293
600	380	0.29	6.6	1558	11.1	24	1:00:06	301
590	390	0.36	6.5	1567	11.2	24	1:01:26	307
580	400	0.31	6.7	1531	10.8	24	1:02:57	315

570	410	0.54	6.9	1527	10.9	29	1:04:19	322
560	420	0.23	6.7	1550	10.8	29	1:05:58	330
550	430	0.2	6.6	1322	11.2	14	1:07:40	338
540	440	0.4	6.7	1550	10.7	29	1:09:08	346
530	450	0.29	6.7	1556	10.9	29	1:10:46	354
520	460	0.29	6.7	1607	10.8	29	1:12:20	362
510	470	0.47	6.7	1582	10.8	29	1:13:55	370
500	480	0.3	6.8	1443	10.8	24	1:15:26	377
490	490	0.3	6.7	1582	10.9	29	1:17:01	385
480	500	0.27	6.8	1575	10.8	29	1:18:39	393
470	510	0.27	6.7	1608	10.8	29	1:20:34	403
460	520	0.27	6.7	1607	10.9	29	1:21:56	410
450	530	0.32	6.8	1603	10.7	29	1:23:40	418
440	540	0.31	6.8	1621	10.7	34	1:25:04	425
430	550	0.31	6.8	1646	10.9	29	1:26:41	433
420	560	0.32	6.8	1575	10.9	24	1:28:36	443
410	570	0.35	6.8	1512	10.9	24	1:30:08	451
400	580	0.25	6.7	1556	10.8	19	1:31:35	458
390	590	0.31	6.7	1601	10.8	24	1:32:55	465
380	600	0.25	6.7	1457	11	19	1:34:43	474
370	610	0.39	6.6	1550	10.8	19	1:36:14	481
360	620	0.2	6.6	1583	11.1	24	1:38:19	492
350	630	0.24	6.7	1582	11	24	1:39:45	499
340	640	0.23	6.5	1435	11.2	14	1:41:26	507
330	650	0.22	6.5	1544	11.1	19	1:42:59	515
320	660	0.24	6.6	1562	11.1	24	1:44:32	523
310	670	0.22	6.6	1570	11.1	24	1:46:08	531
300	680	0.2	6.6	1570	11.1	24	1:47:25	537
290	690	0.2	6.6	1563	11.1	24	1:49:07	546
280	700	0.23	6.4	1420	11.3	14	1:50:41	553
270	710	0.22	6.5	1507	11.1	24	1:52:07	561
260	720	0.23	6.8	1517	10.8	24	1:53:43	569
250	730	0.22	6.8	1597	10.7	24	1:55:26	577
240	740	0.17	6.6	1559	10.8	14	1:57:21	587
230	750	0.37	6.9	1557	10.4	19	1:59:18	597
220	760	0.4	6.8	1587	10.3	19	2:00:29	602
210	770	0.24	6.8	1589	10.5	19	2:01:45	609
200	780	0.19	6.6	1628	10.9	24	2:03:29	617
190	790	0.22	6.6	1662	10.9	24	2:04:56	625
180	800	0.17	6.6	1635	10.9	19	2:06:36	633

Sampel 2 PERTAMINA Enviro 2T ; 300 Watt; 980 mL

V	V.real	CO	CO2	HC	O2	NOx	t	Wh
970	10	0.16	5.7	1327	12.2	19	0:01:45	9
960	20	0.16	5.7	1327	12.2	19	0:03:08	16
950	30	0.16	5.7	1392	12.1	24	0:04:45	24
940	40	0.13	5.6	1390	12.2	24	0:06:04	30
930	50	0.16	5.8	1386	12	24	0:07:41	38
920	60	0.13	5.7	1392	12	24	0:09:20	47
910	70	0.13	5.7	1399	12.1	24	0:10:53	54
900	80	0.24	5.9	1384	11.7	24	0:12:21	62
890	90	0.16	5.8	1387	12	29	0:14:01	70
880	100	0.15	5.8	1390	12.3	24	0:15:39	78
870	110	0.14	5.8	1384	12.2	24	0:17:02	85
860	120	0.15	5.9	1300	12.1	14	0:18:50	94
850	130	0.15	5.9	1363	12	24	0:20:12	101
840	140	0.25	6	1372	11.8	19	0:21:48	109
830	150	0.14	5.9	1366	12	24	0:23:26	117
820	160	0.15	5.9	1403	12	24	0:24:43	124
810	170	0.3	6	1375	11.7	24	0:26:19	132
800	180	0.15	5.9	1384	12.1	24	0:27:54	140
790	190	0.18	5.9	1381	12	24	0:29:36	148
780	200	0.17	5.9	1372	12.1	24	0:31:11	156
770	210	0.17	5.9	1359	12	24	0:32:46	164
760	220	0.27	6	1367	11.8	24	0:34:18	172
750	230	0.17	6	1356	11.2	24	0:35:54	180
740	240	0.17	6.4	1403	11.2	24	0:37:31	188
730	250	0.21	6.3	1458	11.5	24	0:39:11	196
720	260	0.16	6.4	1474	11.5	24	0:40:32	203
710	270	0.33	6.5	1473	11.1	24	0:42:15	211
700	280	0.18	6.4	1485	11.3	24	0:43:57	220
690	290	0.16	6.4	1480	11.4	24	0:45:18	227
680	300	0.2	6.4	1493	11.4	24	0:46:54	235
670	310	0.15	6.3	1480	11.6	14	0:48:34	243
660	320	0.16	6.3	1469	11.5	19	0:50:11	251
650	330	0.37	6.5	1477	11	19	0:51:52	259
640	340	0.18	6.5	1476	10.9	19	0:53:21	267
630	350	0.18	6.9	1514	10.7	19	0:54:51	274
620	360	0.19	6.9	1543	10.5	19	0:56:25	282
610	370	0.2	6.9	1570	10.6	19	0:58:07	291
600	380	0.18	6.8	1573	10.7	24	0:59:36	298
590	390	0.19	6.9	1605	10.5	19	1:01:19	307
580	400	0.32	7	1582	10.2	19	1:02:53	314
570	410	0.21	6.9	1621	10.4	19	1:04:36	323

560	420	0.16	6	1356	12	14	1:06:02	330
550	430	0.17	6	1360	12	14	1:07:44	339
540	440	0.31	6.1	1381	11.6	14	1:09:13	346
530	450	0.18	6	1427	11.9	19	1:10:54	355
520	460	0.15	6	1407	12	19	1:12:26	362
510	470	0.24	6	1408	11.8	19	1:14:08	371
500	480	0.13	5.9	1406	12	19	1:15:30	378
490	490	0.14	5.9	1396	12	19	1:17:14	386
480	500	0.14	6	1390	12	9	1:18:47	394
470	510	0.14	6	1380	12	14	1:20:34	403
460	520	0.14	6	1385	12	14	1:21:56	410
450	530	0.14	6	1384	12	14	1:23:29	417
440	540	0.4	6.8	1299	10.7	14	1:25:11	426
430	550	0.19	6.7	1439	11	19	1:27:10	436
420	560	0.22	6.7	1491	11	19	1:28:19	442
410	570	0.19	6.6	1514	11	19	1:29:56	450
400	580	0.16	6.6	1527	11	19	1:31:32	458
390	590	0.18	6.5	1501	11.1	19	1:33:08	466
380	600	0.2	6.6	1514	11.1	19	1:34:46	474
370	610	0.62	6.8	1494	10.5	19	1:36:21	482
360	620	0.2	6.6	1529	11.1	19	1:37:58	490
350	630	0.17	6.6	1515	11.1	19	1:39:35	498
340	640	0.17	6.6	1500	11.1	19	1:41:18	507
330	650	0.17	6.6	1429	11.1	14	1:42:48	514
320	660	0.21	6.7	1484	10.9	19	1:44:19	522
310	670	0.17	6.5	1522	11.1	19	1:46:07	531
300	680	0.18	6.6	1511	11	19	1:47:27	537
290	690	0.15	6.5	1493	11.2	9	1:49:04	545
280	700	0.14	6.6	1492	11.1	14	1:50:44	554
270	710	0.14	6.5	1522	11.1	14	1:52:30	563
260	720	0.37	6.9	1496	10.5	19	1:53:59	570
250	730	0.42	6.8	1500	10.7	14	1:55:34	578
240	740	0.14	6.5	1536	11.3	19	1:57:03	585
230	750	0.14	6.5	1512	11.3	19	1:58:41	593
220	760	0.35	6.7	1493	10.6	14	2:00:18	602
210	770	0.6	6.8	1481	10.4	14	2:01:39	608
200	780	0.15	6.6	1542	11.2	19	2:03:15	616
190	790	0.14	6.6	1509	11.2	14	2:04:59	625
180	800	0.38	6.8	1457	10.6	14	2:06:23	632

0.5% Fosfor; 300 Watt; Vol. awal 990 mL

V	V.real	CO	CO2	HC	O2	NOx	t	Wh
980	10	0.18	8.3	1674	8.9	39	0:01:43	9
970	20	0.18	8.3	1674	8.9	39	0:03:10	16
960	30	0.17	8.2	1880	9.1	48	0:04:41	23
950	40	0.18	8.1	1860	9.3	48	0:06:08	31
940	50	0.18	8.1	1860	9.3	48	0:07:46	39
930	60	0.19	8.3	1883	9	53	0:09:24	47
920	70	0.21	8.4	1901	8.9	58	0:10:46	54
910	80	0.19	8.2	1920	9.1	58	0:12:19	62
900	90	0.2	8.3	1961	9	58	0:13:50	69
890	100	0.21	8.3	1957	8.9	58	0:15:30	78
880	110	0.23	8.5	1930	9.5	24	0:16:52	84
870	120	0.14	7.8	1930	9.5	24	0:18:25	92
860	130	0.16	8	1945	9.2	29	0:20:18	102
850	140	0.24	8.4	1939	8.5	34	0:21:35	108
840	150	0.18	8.6	2019	8.4	24	0:23:15	116
830	160	0.18	8.6	2019	8.4	24	0:25:00	125
820	170	0.27	9.1	2100	7.5	34	0:26:29	132
810	180	0.19	8.9	2156	8.1	34	0:27:44	139
800	190	0.17	8.6	2210	8.5	29	0:29:10	146
790	200	0.18	8.6	2213	8.5	34	0:30:46	154
780	210	0.2	9	2171	7.9	39	0:32:30	163
770	220	0.18	8.8	2163	8.3	34	0:33:51	169
760	230	0.18	8.6	2184	8.4	34	0:35:21	177
750	240	0.19	8.8	2207	8.4	34	0:36:57	185
740	250	0.35	9.3	2031	7.6	39	0:38:22	192
730	260	0.21	9.1	2024	7.9	34	0:40:16	201
720	270	0.22	9.3	1997	7.7	39	0:41:46	209
710	280	0.29	9.5	2022	7	43	0:43:11	216
700	290	0.18	8.5	2054	8.8	29	0:44:42	224
690	300	0.18	8.5	2054	8.8	29	0:46:22	232
680	310	0.14	8.3	2020	8.7	19	0:48:01	240
670	320	0.14	8.3	2068	8.9	24	0:49:47	249
660	330	0.14	8.4	2093	8.8	24	0:51:11	256
650	340	0.27	9	2092	7.9	34	0:52:33	263
640	350	0.16	8.6	2089	8.5	24	0:54:16	271
630	360	0.15	8.6	1914	8.5	24	0:55:46	279
620	370	0.15	8.6	1914	8.5	24	0:57:19	287
610	380	0.17	8.7	2005	8.2	24	0:59:00	295
600	390	0.16	8.7	2029	8.4	24	1:00:20	302
590	400	0.16	8.6	2041	8.3	24	1:02:03	310
580	410	0.16	8.6	2082	8.4	24	1:03:34	318

570	420	0.17	8.8	2113	8.2	24	1:05:10	326
560	430	0.16	8.7	2076	8.3	24	1:06:45	334
550	440	0.16	8.7	2110	8.2	24	1:08:16	341
540	450	0.17	8.6	2090	8.3	19	1:09:49	349
530	460	0.15	8.8	2025	8.3	24	1:11:19	357
520	470	0.16	8.6	2045	8.4	24	1:12:56	365
510	480	0.25	9	1976	7.7	34	1:14:43	374
500	490	0.14	8.5	2008	8.7	24	1:16:24	382
490	500	0.15	8.4	2006	8.7	24	1:17:39	388
480	510	0.11	7.7	2006	9.7	19	1:19:13	396
470	520	0.11	7.7	2006	9.7	19	1:20:47	404
460	530	0.11	7.7	1859	9.7	19	1:22:28	412
450	540	0.11	7.8	1975	9.6	19	1:24:14	421
440	550	0.12	8	1959	9.3	19	1:25:35	428
430	560	0.12	7.8	2003	9.5	19	1:27:12	436
420	570	0.11	7.8	1984	9.5	19	1:28:57	445
410	580	0.12	7.8	2005	9.4	24	1:30:29	452
400	590	0.14	8.2	2022	8.9	24	1:31:51	459
390	600	0.12	7.9	2015	9.3	19	1:33:37	468
380	610	0.12	8	1844	9.3	14	1:35:07	476
370	620	0.12	8.1	1924	9	14	1:36:45	484
360	630	0.12	8.2	2007	8.8	19	1:38:25	492
350	640	0.13	8.3	2035	8.7	24	1:39:54	500
340	650	0.18	8.9	2032	8	29	1:41:28	507
330	660	0.13	8.5	2061	8.5	24	1:43:13	516
320	670	0.14	8.5	2057	8.6	24	1:44:47	524
310	680	0.13	8.3	2045	8.9	19	1:46:20	532
300	690	0.13	8.3	2044	8.8	19	1:47:49	539
290	700	0.12	8.2	1986	8.8	24	1:49:33	548
280	710	0.12	8.5	2000	8.6	24	1:51:02	555
270	720	0.11	8.3	2004	8.7	24	1:52:45	564
260	730	0.12	8.3	2006	8.9	24	1:54:02	570
250	740	0.11	8.1	1992	8.9	24	1:55:38	578
240	750	0.11	8	2002	9.1	24	1:57:18	587
230	760	0.14	8.5	2003	8.5	29	1:58:56	595
220	770	0.1	7.7	1990	9.6	24	2:00:37	603
210	780	0.14	8.5	1976	8.5	34	2:02:01	610
200	790	0.09	7.6	2091	9.7	19	2:03:31	618
190	800	0.1	7.9	2106	9.4	19	2:05:20	627

1% Fosfor ; 300 Watt ; Vol awal 990 mL

V	V.real	CO	CO2	HC	O2	NOx	t	Wh
980	10	0.2	8.1	1695	9.2	39	0:01:48	9
970	20	0.4	8.5	2031	8.5	68	0:03:39	18
960	30	0.39	8.6	2025	8.4	63	0:04:55	25
950	40	0.21	8.4	2076	8.8	68	0:06:18	32
940	50	0.19	8.2	2097	9.1	73	0:07:54	40
930	60	0.2	8.2	2125	9.1	68	0:09:33	48
920	70	0.24	8.4	2107	8.8	73	0:11:12	56
910	80	0.21	8.3	2160	9.1	73	0:12:37	63
900	90	0.21	8.3	2180	9.1	73	0:14:07	71
890	100	0.16	8	2085	9.2	24	0:15:41	78
880	110	0.17	8.1	2088	8.9	34	0:17:08	86
870	120	0.17	8.3	2076	8.8	34	0:18:59	95
860	130	0.17	8.3	2094	8.9	34	0:20:23	102
850	140	0.27	8.5	2067	8.4	39	0:21:57	110
840	150	0.18	8.3	2037	8.9	34	0:23:26	117
830	160	0.2	8.5	1850	8.6	19	0:25:22	127
820	170	0.2	8.5	1905	8.6	19	0:26:49	134
810	180	0.2	8.5	1847	8.6	19	0:28:18	142
800	190	0.22	8.6	1891	8.4	24	0:29:41	148
790	200	0.21	8.5	1914	8.6	29	0:31:27	157
780	210	0.2	8.4	1957	8.7	24	0:32:57	165
770	220	0.2	8.4	1936	8.7	24	0:34:25	172
760	230	0.19	8.5	1929	8.6	24	0:35:57	180
750	240	0.21	8.6	1925	8.4	24	0:37:46	189
740	250	0.21	8.7	1923	8.4	24	0:38:58	195
730	260	0.23	8.8	1926	8.4	29	0:40:33	203
720	270	0.21	8.6	1919	8.4	24	0:42:10	211
710	280	0.34	8.9	1929	7.9	24	0:43:39	218
700	290	0.17	8.4	1930	8.6	24	0:45:10	226
690	300	0.17	8.4	1947	8.6	34	0:47:02	235
680	310	0.16	8.4	1908	8.6	34	0:48:26	242
670	320	0.26	8.7	1907	8.1	34	0:49:58	250
660	330	0.15	8.4	1903	8.7	34	0:51:37	258
650	340	0.15	8.4	1955	8.5	34	0:53:06	266
640	350	0.16	8.3	2014	8.8	34	0:54:39	273
630	360	0.23	8.5	1975	8.4	24	0:56:10	281
620	370	0.23	8.5	1945	8.4	24	0:57:52	289
610	380	0.23	8.5	1920	8.4	24	0:59:21	297
600	390	0.15	8.3	1963	8.9	24	1:01:00	305
590	400	0.27	8.5	1993	8.2	29	1:02:27	312
580	410	0.17	8.4	1999	8.7	29	1:04:01	320

570	420	0.16	8.3	2011	8.8	24	1:05:44	329
560	430	0.16	8.2	2022	8.9	24	1:07:17	336
550	440	0.16	8.2	2003	8.8	24	1:08:56	345
540	450	0.25	8.5	1980	8.5	24	1:10:27	352
530	460	0.19	8.4	2003	8.7	29	1:11:55	360
520	470	0.16	8.2	2014	9	24	1:13:37	368
510	480	0.16	8.2	2004	8.9	24	1:15:08	376
500	490	0.15	8.2	2003	8.8	24	1:16:32	383
490	500	0.15	8.1	2017	9	24	1:18:18	392
480	510	0.15	8.1	2033	9	29	1:19:35	398
470	520	0.14	8	2036	9.1	24	1:21:24	407
460	530	0.15	8.1	2011	9	24	1:22:58	415
450	540	0.14	8.2	2010	9	24	1:24:21	422
440	550	0.12	7.8	1925	9.5	29	1:26:14	431
430	560	0.13	8.1	1895	9	34	1:27:37	438
420	570	0.14	8.2	1859	9	29	1:29:20	447
410	580	0.14	8.2	1869	8.9	29	1:30:45	454
400	590	0.13	8	1899	9.1	29	1:32:16	461
390	600	0.15	8.2	1904	8.9	29	1:33:52	469
380	610	0.2	8.5	1869	8.4	34	1:35:29	477
370	620	0.13	8.2	1883	8.8	29	1:37:07	486
360	630	0.22	8.4	1937	8.5	34	1:38:40	493
350	640	0.13	8.2	1926	9	29	1:40:13	501
340	650	0.14	8	1951	9.2	29	1:41:49	509
330	660	0.14	8	1961	9.2	24	1:43:39	518
320	670	0.12	7.8	1975	9.5	24	1:45:22	527
310	680	0.11	7.8	1914	9.4	19	1:46:40	533
300	690	0.11	7.7	1961	9.5	24	1:48:25	542
290	700	0.11	8	1950	9.1	34	1:49:36	548
280	710	0.11	7.7	1957	9.6	24	1:51:20	557
270	720	0.11	7.7	1986	9.5	29	1:53:05	565
260	730	0.12	7.8	2001	9.4	24	1:54:29	572
250	740	0.12	7.7	2036	9.5	24	1:56:00	580
240	750	0.12	7.8	2046	9.4	24	1:57:30	588
230	760	0.12	7.6	2042	9.6	24	1:59:24	597
220	770	0.18	8.2	2045	8.9	29	2:00:47	604
210	780	0.12	7.8	2046	9.5	24	2:02:15	611
200	790	0.12	7.7	2061	9.6	24	2:03:49	619
190	800	0.12	7.7	2057	9.6	24	2:05:13	626

2% Fosfor ; 300 Watt ; Vol awal 990 mL

V	V.real	CO	CO2	HC	O2	NOx	t	Wh
980	10	0.2	8.3	1843	9	43	0:01:32	8
970	20	0.16	8.1	1913	9	24	0:02:58	15
960	30	0.17	8.2	1941	9	29	0:04:36	23
950	40	0.17	8.2	1982	9	34	0:06:04	30
940	50	0.17	8.1	2017	9	34	0:07:42	39
930	60	0.17	8	1989	9.4	34	0:09:22	47
920	70	0.17	8	1980	9.4	34	0:11:12	56
910	80	0.19	8.1	1946	9.1	39	0:12:29	62
900	90	0.18	8	1965	9.3	34	0:13:42	69
890	100	0.18	8	1943	9.3	39	0:15:22	77
880	110	0.19	8.2	1950	9.1	39	0:16:52	84
870	120	0.14	8	1877	9.2	24	0:18:22	92
860	130	0.14	7.9	1893	9.4	24	0:20:30	103
850	140	0.14	7.9	1899	9.3	24	0:21:42	109
840	150	0.15	7.9	1904	9.3	29	0:23:12	116
830	160	0.16	8	1887	9.3	24	0:24:41	123
820	170	0.16	8	1905	9.3	24	0:26:19	132
810	180	0.16	8	1891	9.2	24	0:27:42	139
800	190	0.15	7.9	1871	9.2	24	0:29:19	147
790	200	0.18	8.2	1841	8.9	29	0:30:49	154
780	210	0.16	8.1	1842	9	24	0:32:23	162
770	220	0.17	8.3	1862	8.6	29	0:33:53	169
760	230	0.18	8.3	1843	8.9	29	0:35:27	177
750	240	0.17	8.1	1856	9.1	24	0:37:04	185
740	250	0.18	8.1	1807	9.1	29	0:38:32	193
730	260	0.17	8.1	1825	9.2	24	0:40:24	202
720	270	0.17	8.1	1871	9.1	24	0:41:52	209
710	280	0.19	8.1	1892	9.1	19	0:43:15	216
700	290	0.18	8.1	1928	9.2	19	0:45:13	226
690	300	0.18	8	1921	9.3	19	0:46:50	234
680	310	0.14	7.8	1890	9.4	19	0:48:27	242
670	320	0.14	7.8	1886	9.4	19	0:49:32	248
660	330	0.14	7.7	1938	9.4	24	0:51:25	257
650	340	0.21	8.1	1935	8.9	24	0:52:48	264
640	350	0.14	7.8	1956	9.5	24	0:54:23	272
630	360	0.12	6.8	2082	10.7	14	0:55:58	280
620	370	0.12	7.5	1971	9.9	24	0:57:52	289
610	380	0.12	7.9	1925	9.3	29	0:59:26	297
600	390	0.11	7.5	1949	10	24	1:00:50	304
590	400	0.11	7.4	1860	9.9	24	1:02:41	313
580	410	0.13	7.7	1881	9.7	24	1:04:34	323

570	420	0.13	7.7	1866	9.6	24	1:05:48	329
560	430	0.12	7.6	1971	9.8	19	1:07:06	336
550	440	0.13	7.8	1963	9.6	24	1:08:40	343
540	450	0.13	7.5	2012	9.8	19	1:10:14	351
530	460	0.13	7.5	2030	9.9	19	1:12:04	360
520	470	0.11	7.3	2095	10.2	24	1:13:21	367
510	480	0.11	7.2	2073	10.3	24	1:15:02	375
500	490	0.12	7.3	2061	10.1	24	1:16:49	384
490	500	0.11	7.3	2064	10.2	19	1:18:45	394
480	510	0.1	7.2	2032	10.3	14	1:19:56	400
470	520	0.09	7.2	2042	10.4	19	1:21:14	406
460	530	0.09	7.1	2034	10.4	19	1:22:55	415
450	540	0.09	7.3	1970	10.3	19	1:24:47	424
440	550	0.13	7.7	1982	9.7	29	1:26:26	432
430	560	0.11	7.4	1968	10	19	1:27:35	438
420	570	0.11	7.3	1978	10.1	19	1:29:38	448
410	580	0.13	7.8	1997	9.6	24	1:30:56	455
400	590	0.11	7.3	2026	10.3	14	1:32:29	462
390	600	0.11	7.4	2018	10.1	19	1:34:05	470
380	610	0.11	7.3	2004	10.1	19	1:36:10	481
370	620	0.1	7.3	1986	10.2	19	1:37:45	489
360	630	0.1	7.2	2008	10.3	19	1:39:00	495
350	640	0.1	7.1	2001	10.5	19	1:40:39	503
340	650	0.1	7.1	1985	10.5	19	1:41:56	510
330	660	0.1	7	1983	10.6	14	1:43:37	518
320	670	0.1	7.1	1942	10.3	19	1:45:13	526
310	680	0.1	6.7	1933	10.8	14	1:46:57	535
300	690	0.1	7.1	1940	10.6	19	1:48:38	543
290	700	0.1	7.2	1902	10.1	14	1:50:19	552
280	710	0.09	7.1	1940	10.6	14	1:51:38	558
270	720	0.09	7	1934	10.5	14	1:53:10	566
260	730	0.1	7.1	1935	10.5	14	1:54:53	574
250	740	0.09	6.9	1961	10.6	19	1:56:19	582
240	750	0.09	7	1950	10.6	19	1:58:12	591
230	760	0.11	7.5	1926	9.8	24	1:59:57	600
220	770	0.09	7.1	1928	10.4	19	2:01:08	606
210	780	0.09	7.1	1914	10.5	14	2:03:03	615
200	790	0.09	7.2	1912	10.4	19	2:04:09	621
190	800	0.1	7.2	1916	10.4	19	2:06:01	630

0.5% AP – 2387 ; 300 Watt ; Vol. awal 970 mL

V	V.real	CO	CO2	HC	O2	NOx	t	Wh
960	10	0.16	5.9	1452	13.4	14	0:01:50	9
950	20	0.15	5.9	1497	12.2	24	0:03:02	15
940	30	0.17	5.9	1497	12.4	24	0:04:20	22
930	40	0.15	5.9	1524	12.2	24	0:05:33	28
920	50	0.16	6	1537	12.2	29	0:07:09	36
910	60	0.15	6	1534	12.2	29	0:08:32	43
900	70	0.15	6	1544	12.1	29	0:10:02	50
890	80	0.15	5.9	1572	12.4	29	0:11:37	58
880	90	0.15	5.9	1575	12.3	29	0:13:00	65
870	100	0.16	6	1597	12.3	29	0:14:33	73
860	110	0.14	6	1533	12.2	14	0:16:15	81
850	120	0.12	5.8	1570	12.3	19	0:17:46	89
840	130	0.12	5.9	1564	12.3	19	0:19:09	96
830	140	0.13	6	1545	12.1	19	0:20:41	103
820	150	0.13	5.9	1541	12.3	19	0:22:08	111
810	160	0.13	5.9	1542	12.2	24	0:23:43	119
800	170	0.13	6	1551	12.2	24	0:25:04	125
790	180	0.14	6.2	1517	11.8	24	0:26:47	134
780	190	0.14	6	1550	11.8	24	0:28:18	142
770	200	0.13	6.1	1528	12	19	0:29:44	149
760	210	0.15	6.1	1559	12	24	0:31:17	156
750	220	0.15	6.1	1542	12	24	0:32:40	163
740	230	0.14	6	1528	12.1	24	0:34:08	171
730	240	0.15	6.3	1507	11.9	24	0:35:56	180
720	250	0.15	6.2	1520	11.9	24	0:37:35	188
710	260	0.15	6.1	1525	12	24	0:38:56	195
700	270	0.16	6.2	1508	11.9	24	0:40:43	204
690	280	0.16	6.2	1473	12	24	0:42:02	210
680	290	0.16	6.2	1479	11.9	24	0:43:31	218
670	300	0.15	6.2	1496	12	24	0:45:07	226
660	310	0.12	6.1	1415	12	19	0:46:37	233
650	320	0.11	5.9	1437	12.1	19	0:48:01	240
640	330	0.11	6	1424	12.1	24	0:49:39	248
630	340	0.11	6.1	1410	12.1	19	0:51:11	256
620	350	0.12	6.1	1404	12.1	24	0:52:47	264
610	360	0.11	6	1427	12.1	24	0:54:06	271
600	370	0.11	6	1417	12.1	19	0:55:35	278
590	380	0.12	6.1	1401	12	24	0:57:14	286
580	390	0.11	6.1	1382	11.9	24	0:58:51	294
570	400	0.11	6	1408	12	19	1:00:17	301
560	410	0.12	6.1	1375	11.9	19	1:01:57	310

550	420	0.14	6.1	1430	11.9	19	1:03:22	317
540	430	0.12	6	1409	12	19	1:04:52	324
530	440	0.11	5.8	1425	12.3	19	1:06:38	333
520	450	0.11	5.9	1368	12	24	1:08:03	340
510	460	0.12	6	1357	12	24	1:09:36	348
500	470	0.11	6.1	1328	11	19	1:11:08	356
490	480	0.12	5.9	1370	12.1	19	1:12:40	363
480	490	0.12	5.8	1394	12.3	24	1:14:28	372
470	500	0.12	5.9	1377	12	24	1:15:41	378
460	510	0.11	6	1331	12.1	24	1:17:26	387
450	520	0.11	5.8	1381	12.6	19	1:18:55	395
440	530	0.1	5.8	1345	12.2	19	1:20:20	402
430	540	0.09	5.6	1373	12.5	19	1:21:55	410
420	550	0.11	6	1302	12	24	1:23:25	417
410	560	0.07	5.3	1292	13	14	1:24:55	425
400	570	0.09	5.7	1322	12.4	24	1:26:42	434
390	580	0.08	5.8	1319	12.2	24	1:28:17	441
380	590	0.08	5.5	1324	12.5	24	1:29:52	449
370	600	0.09	5.6	1320	12.5	24	1:31:26	457
360	610	0.09	5.8	1315	12.3	24	1:32:55	465
350	620	0.1	5.9	1319	12.1	24	1:34:38	473
340	630	0.1	5.9	1358	12.1	24	1:36:04	480
330	640	0.11	6	1334	12	24	1:37:34	488
320	650	0.11	6	1320	12	29	1:39:10	496
310	660	0.11	6	1341	12	29	1:40:36	503
300	670	0.11	6.1	1356	12	24	1:41:57	510
290	680	0.12	5.9	1358	12.1	24	1:43:44	519
280	690	0.12	6.1	1361	11.9	24	1:45:15	526
270	700	0.12	6	1358	11.9	24	1:47:20	537
260	710	0.11	6	1356	12	24	1:48:33	543
250	720	0.1	5.8	1367	12.2	24	1:49:40	548
240	730	0.1	5.8	1377	12.2	24	1:51:07	556
230	740	0.1	5.8	1402	12.1	24	1:52:38	563
220	750	0.11	5.8	1400	12.2	24	1:54:30	573
210	760	0.1	5.8	1404	12.1	24	1:55:39	578
200	770	0.11	5.9	1399	12	24	1:57:02	585
190	780	0.11	5.9	1395	12.1	24	1:58:28	592
180	790	0.12	5.9	1410	12	24	1:59:50	599
170	800	0.13	6	1418	12	24	2:01:20	607

1% AP – 2387 ; 300 Watt ; Vol. awal 1000 mL

V	V.real	CO	CO2	HC	O2	NOx	t	Wh
990	10	0.16	6.2	1276	12.2	4	0:02:19	12
980	20	0.16	6.2	1345	11.7	19	0:04:06	21
970	30	0.16	6.8	1577	10.9	14	0:05:18	27
960	40	0.16	6.7	1456	11.1	14	0:06:45	34
950	50	0.16	6.8	1415	11.2	14	0:08:22	42
940	60	0.17	6.9	1391	11.2	14	0:10:07	51
930	70	0.16	6.3	1349	11.9	14	0:11:49	59
920	80	0.17	6.6	1437	11.6	14	0:13:33	68
910	90	0.18	6.7	1437	11.6	14	0:15:09	76
900	100	0.17	6.4	1516	12.1	19	0:16:56	85
890	110	0.18	6.5	1570	11.7	19	0:18:01	90
880	120	0.14	6.6	1550	11.3	14	0:19:36	98
870	130	0.14	6.5	1596	11.3	19	0:21:16	106
860	140	0.14	6.5	1476	11.4	14	0:22:55	115
850	150	0.15	6.7	1512	11	14	0:24:15	121
840	160	0.16	6.7	1509	10.8	14	0:25:47	129
830	170	0.16	6.6	1393	11.3	14	0:27:30	138
820	180	0.16	6.6	1374	11.3	14	0:28:58	145
810	190	0.17	6.8	1457	11	19	0:30:37	153
800	200	0.17	6.6	1546	11.2	19	0:32:15	161
790	210	0.18	6.7	1475	11	19	0:33:41	168
780	220	0.16	6.7	1518	11.1	19	0:35:20	177
770	230	0.16	6.6	1648	11.2	19	0:37:04	185
760	240	0.19	6.8	1585	10.9	24	0:38:44	194
750	250	0.17	6.6	1465	11.4	14	0:40:00	200
740	260	0.16	6.5	1506	11.3	19	0:41:55	210
730	270	0.17	6.7	1487	11.2	19	0:43:25	217
720	280	0.17	6.7	1459	11.1	19	0:44:50	224
710	290	0.17	6.7	1621	11.1	19	0:46:27	232
700	300	0.17	6.7	1633	11.1	24	0:48:36	243
690	310	0.17	6.5	1570	12.2	14	0:49:40	248
680	320	0.14	6.4	1661	11.4	14	0:51:16	256
670	330	0.14	6.4	1597	11.8	9	0:53:01	265
660	340	0.14	6.4	1664	11.5	14	0:55:09	276
650	350	0.19	6.7	1682	11	14	0:56:24	282
640	360	0.13	6.2	1588	11.8	14	0:57:50	289
630	370	0.15	6.3	1672	11.7	14	0:59:23	297
620	380	0.14	6.4	1538	11.5	14	1:01:05	305
610	390	0.14	6.3	1655	11.5	14	1:02:33	313
600	400	0.19	6.7	1576	11	19	1:04:01	320
590	410	0.15	7	1567	10.7	14	1:05:39	328

580	420	0.14	6.6	1478	11.2	14	1:07:22	337
570	430	0.16	6.9	1511	10.9	14	1:09:07	346
560	440	0.13	6.6	1475	11.3	9	1:10:26	352
550	450	0.13	6.5	1451	11.4	9	1:12:00	360
540	460	0.14	6.4	1484	11.6	9	1:13:50	369
530	470	0.18	6.8	1447	11.2	9	1:15:18	377
520	480	0.13	6.3	1472	11.8	9	1:16:54	385
510	490	0.14	6.6	1401	11.4	9	1:18:28	392
500	500	0.14	6.6	1455	11.2	9	1:20:13	401
490	510	0.13	6.5	1418	11.5	9	1:21:41	408
480	520	0.12	6.2	1402	11.9	9	1:23:24	417
470	530	0.13	6.4	1366	11.5	9	1:24:55	425
460	540	0.11	6.3	1321	12	9	1:26:36	433
450	550	0.12	6.2	1316	11.7	14	1:28:05	440
440	560	0.12	6.1	1363	12	14	1:29:57	450
430	570	0.11	6	1276	12.1	9	1:31:21	457
420	580	0.12	6.2	1240	11.9	9	1:33:00	465
410	590	0.12	6	1302	12.2	9	1:34:27	472
400	600	0.12	6.3	1321	11.7	14	1:36:21	482
390	610	0.11	6.1	1303	12	14	1:38:05	490
380	620	0.11	6	1354	12.1	9	1:39:24	497
370	630	0.11	5.9	1289	12.2	14	1:41:08	506
360	640	0.11	6	1365	12.1	14	1:42:45	514
350	650	0.11	6.1	1251	12	14	1:44:13	521
340	660	0.12	6.1	1210	12	9	1:45:53	529
330	670	0.1	5.7	1155	12.6	9	1:47:40	538
320	680	0.11	6	1156	12.1	9	1:49:10	546
310	690	0.1	6	1256	12.1	9	1:50:57	555
300	700	0.1	6	1317	11.9	14	1:52:24	562
290	710	0.1	6	1303	12.1	9	1:54:09	571
280	720	0.1	5.9	1229	12.2	14	1:55:45	579
270	730	0.1	6.1	1214	11.9	9	1:57:32	588
260	740	0.1	6	1217	11.9	14	1:58:58	595
250	750	0.09	5.8	1209	12.5	9	2:00:28	602
240	760	0.09	5.6	1215	12.7	9	2:02:13	611
230	770	0.09	5.8	1237	12.2	14	2:03:55	620
220	780	0.09	5.8	1317	12.2	14	2:05:51	629
210	790	0.09	5.7	1177	12.6	9	2:07:09	636
200	800	0.1	6	1183	12.2	9	2:08:48	644

2% AP -2387 ; 300 Watt ; Vol. awal 970 mL

V	V.real	CO	CO2	HC	O2	NOx	t	Wh
970	10	0.15	6.5	1651	11.6	14	0:01:54	10
960	20	0.16	6.5	1662	11.6	19	0:03:16	16
950	30	0.1	5.9	1566	12	4	0:05:04	25
940	40	0.13	6.4	1651	11.6	14	0:06:38	33
930	50	0.14	6.4	1659	11.6	14	0:08:12	41
920	60	0.14	6.3	1671	11.4	19	0:09:44	49
910	70	0.15	6.4	1667	11.6	19	0:11:12	56
900	80	0.18	6.8	1628	11.2	24	0:12:47	64
890	90	0.16	6.5	1683	11.6	19	0:14:16	71
880	100	0.16	6.5	1715	11.6	19	0:16:02	80
870	110	0.19	6.9	1637	11	24	0:17:44	89
860	120	0.17	6.5	1677	11.5	19	0:19:21	97
850	130	0.12	6.4	1597	11.7	9	0:20:42	104
840	140	0.12	6.3	1623	11.7	14	0:22:05	110
830	150	0.13	6.3	1630	11.8	14	0:23:45	119
820	160	0.13	6.2	1589	11.9	14	0:25:17	126
810	170	0.13	6.3	1596	11.8	14	0:26:41	133
800	180	0.13	6.2	1600	11.8	14	0:28:21	142
790	190	0.13	6.2	1594	11.8	14	0:29:53	149
780	200	0.14	6.5	1564	11.5	19	0:31:44	159
770	210	0.14	6.3	1585	11.8	14	0:33:08	166
760	220	0.13	6.3	1572	11.9	14	0:34:44	174
750	230	0.13	6.2	1574	11.9	14	0:36:00	180
740	240	0.16	6.6	1519	11.3	19	0:37:41	188
730	250	0.14	6.3	1555	11.8	14	0:39:13	196
720	260	0.14	6.3	1540	11.7	14	0:40:57	205
710	270	0.14	6.3	1541	11.8	14	0:42:27	212
700	280	0.14	6.4	1516	11.6	14	0:44:06	221
690	290	0.15	6.5	1538	11.6	14	0:45:48	229
680	300	0.15	6.3	1569	11.8	14	0:47:33	238
670	310	0.14	6.4	1543	11.7	14	0:48:51	244
660	320	0.11	6.1	1513	11.9	9	0:50:28	252
650	330	0.11	6.3	1543	11.6	19	0:52:35	263
640	340	0.11	6.1	1545	11.8	19	0:53:52	269
630	350	0.11	6.1	1542	11.9	14	0:55:25	277
620	360	0.11	6.1	1539	11.9	14	0:57:03	285
610	370	0.12	6.3	1516	11.7	14	0:58:35	293
600	380	0.11	6.1	1535	11.8	14	0:59:54	300
590	390	0.13	6.5	1487	11.3	19	1:01:38	308
580	400	0.12	6.1	1561	11.8	14	1:03:15	316
570	410	0.11	6	1576	12	14	1:04:54	325

560	420	0.13	6.4	1537	11.4	19	1:06:30	333
550	430	0.12	6.2	1476	11.8	19	1:08:09	341
540	440	0.12	6.1	1525	11.9	19	1:09:37	348
530	450	0.12	6.1	1601	11.9	14	1:11:13	356
520	460	0.13	6.1	1592	11.9	14	1:12:52	364
510	470	0.13	6.2	1614	11.8	14	1:14:37	373
500	480	0.13	6.1	1620	11.8	14	1:15:46	379
490	490	0.14	6.3	1585	11.5	19	1:17:35	388
480	500	0.12	6.1	1608	11.8	14	1:19:08	396
470	510	0.13	6.1	1557	11.8	14	1:20:38	403
460	520	0.11	6	1586	11.9	14	1:22:20	412
450	530	0.11	6	1613	11.9	19	1:23:51	419
440	540	0.1	5.9	1626	12	19	1:25:21	427
430	550	0.1	6	1606	12	14	1:27:07	436
420	560	0.12	6.3	1562	11.6	19	1:28:49	444
410	570	0.11	6.2	1584	11.7	14	1:30:35	453
400	580	0.11	6.2	1546	11.7	19	1:31:41	458
390	590	0.11	6.1	1536	11.8	19	1:33:40	468
380	600	0.1	5.9	1622	12.1	14	1:35:04	475
370	610	0.1	5.9	1602	12.2	14	1:36:47	484
360	620	0.1	5.9	1621	12.1	19	1:38:34	493
350	630	0.11	5.9	1651	12	14	1:40:11	501
340	640	0.11	6	1612	12	14	1:41:34	508
330	650	0.1	5.8	1641	12.1	14	1:43:12	516
320	660	0.1	5.8	1606	12.1	14	1:44:51	524
310	670	0.1	5.8	1635	12.3	14	1:46:30	533
300	680	0.1	5.9	1620	12.1	14	1:48:06	541
290	690	0.11	6.2	1609	11.7	14	1:49:31	548
280	700	0.1	6	1574	12	9	1:51:11	556
270	710	0.09	5.9	1585	12.2	14	1:53:12	566
260	720	0.1	6	1519	11.9	19	1:54:44	574
250	730	0.09	5.9	1580	12.2	14	1:55:54	580
240	740	0.09	5.9	1503	12	14	1:57:38	588
230	750	0.09	6	1477	12	19	1:59:09	596
220	760	0.09	5.7	1533	12.3	14	2:00:47	604
210	770	0.09	5.8	1554	12.3	14	2:02:28	612
200	780	0.09	5.9	1507	12.1	14	2:03:58	620
190	790	0.09	5.9	1492	11.7	14	2:05:39	628
180	800	0.09	5.9	1479	12.2	14	2:07:03	635

0.5% Sulfur ; 300 Watt ; Vol awal 970 mL

V	V.real	CO	CO2	HC	O2	NOx	t	Wh
960	10	0.25	6.2	1217	11.7	24	0:01:53	9
950	20	0.25	6.2	1215	11.7	24	0:03:02	15
940	30	0.18	6	1327	12	34	0:04:53	24
930	40	0.24	6	1381	12	34	0:06:29	32
920	50	0.48	6.2	1384	11.6	34	0:08:05	40
910	60	0.21	6.1	1439	12	34	0:09:37	48
900	70	0.15	5.9	1427	12.3	34	0:11:06	56
890	80	0.3	6.2	1437	12	39	0:12:57	65
880	90	0.26	6.2	1455	11.8	39	0:14:27	72
870	100	0.25	6.2	1437	12	39	0:16:01	80
860	110	0.24	5.9	1400	11.9	14	0:17:43	89
850	120	0.18	5.9	1407	12	19	0:19:13	96
840	130	0.47	6.1	1324	11.7	14	0:20:58	105
830	140	0.15	6	1406	12.1	19	0:22:17	111
820	150	0.44	6.1	1391	11.5	19	0:24:10	121
810	160	0.22	6.1	1430	11.8	19	0:25:34	128
800	170	0.45	6.2	1418	11.5	19	0:27:06	136
790	180	0.33	6.2	1422	11.6	19	0:28:45	144
780	190	0.21	6.1	1447	11.8	19	0:30:18	152
770	200	0.46	6.2	1416	11.5	19	0:32:01	160
760	210	0.18	6	1406	11.9	14	0:33:43	169
750	220	0.17	5.9	1421	12	19	0:35:40	178
740	230	0.18	5.9	1425	12.1	19	0:36:44	184
730	240	0.23	5.9	1475	12.1	19	0:38:21	192
720	250	0.49	6	1426	11.7	14	0:40:03	200
710	260	0.53	6	1410	11.7	14	0:41:33	208
700	270	0.17	5.8	1482	12.3	19	0:43:00	215
690	280	0.23	5.9	1501	12.1	14	0:44:51	224
680	290	0.21	5.9	1500	12.1	19	0:46:29	232
670	300	0.41	5.9	1425	12	9	0:48:04	240
660	310	0.23	5.9	1402	12	14	0:49:49	249
650	320	0.16	5.9	1507	12.3	14	0:51:20	257
640	330	0.13	5.8	1478	12.2	14	0:52:49	264
630	340	0.15	5.8	1499	12.4	14	0:54:28	272
620	350	0.18	5.8	1487	12.3	14	0:56:38	283
610	360	0.16	5.9	1480	12.3	14	0:58:03	290
600	370	0.16	5.8	1488	12.2	14	0:59:39	298
590	380	0.34	6	1453	11.8	14	1:01:01	305
580	390	0.42	6.1	1441	11.7	14	1:02:35	313
570	400	0.14	5.8	1495	12.4	14	1:04:13	321
560	410	0.16	5.8	1493	12.4	14	1:06:12	331

550	420	0.19	5.8	1362	12.3	14	1:07:47	339
540	430	0.18	5.8	1443	12.4	14	1:09:21	347
530	440	0.17	5.7	1445	12.3	14	1:10:49	354
520	450	0.4	5.9	1417	12	14	1:12:20	362
510	460	0.16	5.7	1463	12.5	14	1:14:06	371
500	470	0.12	5.5	1498	12.9	14	1:15:26	377
490	480	0.15	5.7	1500	12.6	14	1:17:10	386
480	490	0.11	5.5	1500	12.8	9	1:18:41	393
470	500	0.12	5.5	1530	12.6	9	1:20:25	402
460	510	0.12	5.5	1529	12.7	9	1:22:10	411
450	520	0.12	5.5	1512	12.8	9	1:23:48	419
440	530	0.13	5.5	1329	12.6	9	1:25:16	426
430	540	0.38	5.7	1499	12.2	9	1:26:55	435
420	550	0.11	5.4	1531	12.8	14	1:28:38	443
410	560	0.13	5.4	1566	12.7	9	1:30:01	450
400	570	0.12	5.4	1606	12.8	9	1:31:32	458
390	580	0.23	5.5	1615	12.6	9	1:33:16	466
380	590	0.12	5.2	1630	13.1	9	1:34:48	474
370	600	0.13	5.2	1616	13.1	9	1:36:34	483
360	610	0.24	5.5	1644	12.6	9	1:38:08	491
350	620	0.18	5.1	1643	12.6	9	1:39:45	499
340	630	0.11	5.1	1570	13.3	9	1:41:28	507
330	640	0.11	5.1	1620	13.2	9	1:42:45	514
320	650	0.2	5.4	1624	12.8	9	1:44:35	523
310	660	0.13	5.2	1637	13.1	9	1:46:10	531
300	670	0.12	5.2	1630	13.2	9	1:47:33	538
290	680	0.1	5.2	1552	13.1	14	1:49:21	547
280	690	0.11	5.2	1531	13.1	19	1:50:53	554
270	700	0.09	4.9	1629	13.7	14	1:52:29	562
260	710	0.09	4.9	1628	13.7	14	1:54:41	573
250	720	0.09	4.9	1576	13.6	9	1:55:59	580
240	730	0.09	5	1559	13.4	14	1:57:18	587
230	740	0.08	4.8	1608	13.7	9	1:59:06	596
220	750	0.07	4.6	1623	14	9	2:00:45	604
210	760	0.07	4.6	1603	13.8	9	2:02:34	613
200	770	0.11	5.1	1574	13.3	14	2:03:58	620
190	780	0.07	4.7	1598	13.8	14	2:05:35	628
180	790	0.07	4.6	1617	14	9	2:07:18	637
170	800	0.08	4.7	1612	13.6	14	2:09:00	645

1% Sulfur ; 300 Watt ; Vol. awal 990 mL

V	V.real	CO	CO2	HC	O2	NOx	t	Wh
980	10	0.31	6.4	1286	11.5	24	0:01:47	9
970	20	0.27	6.3	1323	11.7	24	0:03:26	17
960	30	0.26	6.3	1400	11.6	29	0:05:10	26
950	40	0.22	6.3	1422	11.7	29	0:06:50	34
940	50	0.23	6.3	1423	11.7	34	0:08:29	42
930	60	0.23	6.3	1451	11.7	34	0:10:09	51
920	70	0.23	6.3	1400	11.7	24	0:11:51	59
910	80	0.52	6.3	1319	11.6	24	0:13:20	67
900	90	0.36	6.3	1405	11.7	29	0:14:52	74
890	100	0.37	6.1	1390	11.7	14	0:16:36	83
880	110	0.49	6.1	1370	11.6	19	0:18:06	91
870	120	0.49	6.1	1409	11.5	14	0:19:47	99
860	130	0.18	6	1402	11.7	19	0:21:24	107
850	140	0.28	6.1	1401	11.6	19	0:22:55	115
840	150	0.52	6.1	1393	11.4	19	0:24:32	123
830	160	0.4	6.1	1300	11.4	19	0:26:11	131
820	170	0.19	6	1295	11.9	14	0:27:49	139
810	180	0.19	6	1373	11.9	19	0:29:26	147
800	190	0.17	5.9	1377	12.1	19	0:31:08	156
790	200	0.5	6.1	1359	11.7	19	0:32:43	164
780	210	0.36	6	1368	11.8	14	0:34:16	171
770	220	0.19	6	1367	11.9	19	0:35:57	180
760	230	0.18	5.9	1407	12	14	0:37:30	188
750	240	0.22	5.9	1373	12	19	0:39:15	196
740	250	0.18	5.9	1380	12	19	0:41:02	205
730	260	0.56	6.1	1324	11.7	14	0:42:34	213
720	270	0.16	5.9	1356	12.2	14	0:44:15	221
710	280	0.13	6	1300	12.2	14	0:46:00	230
700	290	0.4	6	1263	11.8	14	0:47:21	237
690	300	0.31	6	1287	11.8	19	0:49:03	245
680	310	0.2	6	1300	11.8	19	0:50:54	255
670	320	0.2	6.2	1306	11.7	14	0:52:20	262
660	330	0.16	6.1	1381	11.8	19	0:54:08	271
650	340	0.17	6.1	1413	11.8	19	0:55:59	280
640	350	0.15	6.1	1420	11.8	19	0:57:27	287
630	360	0.5	6.2	1423	11.4	19	0:58:57	295
620	370	0.2	6.1	1433	11.7	19	1:00:36	303
610	380	0.18	6.1	1433	11.9	19	1:02:09	311
600	390	0.17	6	1441	11.9	19	1:03:50	319
590	400	0.16	6	1450	12	19	1:05:30	328
580	410	0.16	6	1474	12	19	1:07:10	336

570	420	0.3	6.1	1482	11.8	19	1:08:54	345
560	430	0.16	6	1517	12	14	1:10:33	353
550	440	0.13	6	1500	12	14	1:12:08	361
540	450	0.3	6.4	1490	11.3	14	1:13:51	369
530	460	0.14	6.1	1575	11.9	14	1:15:19	377
520	470	0.16	6.2	1584	11.9	14	1:17:02	385
510	480	0.11	6	1558	11.9	14	1:18:41	393
500	490	0.14	6	1560	11.8	14	1:20:06	401
490	500	0.17	6.1	1573	11.6	19	1:21:55	410
480	510	0.28	6.3	1598	11.4	19	1:24:00	420
470	520	0.12	5.8	1641	12.2	14	1:25:39	428
460	530	0.11	5.8	1557	12.2	19	1:26:50	434
450	540	0.15	6.1	1533	11.7	19	1:28:41	443
440	550	0.12	6	1580	11.9	19	1:30:07	451
430	560	0.1	5.7	1622	12.4	14	1:32:01	460
420	570	0.11	5.8	1684	12.3	14	1:33:33	468
410	580	0.1	5.7	1720	12.3	14	1:35:14	476
400	590	0.1	5.7	1745	12.4	14	1:36:46	484
390	600	0.12	5.8	1717	12.2	19	1:38:31	493
380	610	0.11	5.7	1600	12.2	19	1:40:13	501
370	620	0.11	5.7	1543	12.6	14	1:42:06	511
360	630	0.12	5.6	1591	12.6	9	1:43:51	519
350	640	0.11	5.6	1605	12.6	9	1:45:18	527
340	650	0.12	5.5	1650	12.6	14	1:46:50	534
330	660	0.1	5.4	1658	12.8	14	1:47:50	539
320	670	0.1	5.4	1680	12.9	9	1:50:13	551
310	680	0.09	5.5	1665	12.8	14	1:52:03	560
300	690	0.08	5.3	1655	13	14	1:53:26	567
290	700	0.08	5.1	1655	13.3	9	1:55:18	577
280	710	0.08	5.1	1660	13	9	1:57:10	586
270	720	0.08	5.4	1661	12.8	9	1:58:49	594
260	730	0.1	5.8	1667	12.3	14	2:00:27	602
250	740	0.11	5.9	1698	12	14	2:02:02	610
240	750	0.1	5.8	1708	12.2	14	2:03:35	618
230	760	0.11	6	1734	12	14	2:05:30	628
220	770	0.18	6.1	1781	11.7	14	2:07:01	635
210	780	0.11	5.9	1798	12.1	14	2:08:29	642
200	790	0.1	5.7	1821	12.4	14	2:10:15	651
190	800	0.1	5.8	1800	12.4	14	2:11:41	658

2% Sulfur ; 300 Watt ; Vol. awal 990 mL

V	V.real	CO	CO2	HC	O2	NOx	t	Wh
980	10	0.16	6.1	1275	12.2	24	0:01:37	8
970	20	0.16	6.1	1278	12.2	24	0:03:07	16
960	30	0.19	6.3	1382	11.9	29	0:04:31	23
950	40	0.38	6.2	1400	12	14	0:06:03	30
940	50	0.16	6.3	1413	11.5	14	0:07:51	39
930	60	0.19	6.2	1411	11.8	19	0:09:22	47
920	70	0.19	6.2	1413	11.9	19	0:10:51	54
910	80	0.17	6.2	1445	11.8	19	0:12:30	63
900	90	0.19	6.2	1453	11.9	19	0:13:56	70
890	100	0.2	6.2	1434	11.9	19	0:15:26	77
880	110	0.4	6.2	1477	11.8	19	0:17:16	86
870	120	0.25	6.3	1448	11.6	24	0:18:47	94
860	130	0.18	6.3	1395	12	14	0:20:16	101
850	140	0.15	6.1	1401	12	14	0:21:53	109
840	150	0.17	6.1	1428	11.9	14	0:23:24	117
830	160	0.13	6.1	1424	12	14	0:25:05	125
820	170	0.13	6.1	1423	12	14	0:26:55	135
810	180	0.13	6.1	1432	12	14	0:28:04	140
800	190	0.13	6.1	1423	12	14	0:29:38	148
790	200	0.15	6	1418	11.8	19	0:31:21	157
780	210	0.28	6.1	1430	11.7	19	0:32:47	164
770	220	0.13	6.1	1440	12	19	0:34:28	172
760	230	0.13	6	1454	12	14	0:36:01	180
750	240	0.16	6	1445	12	14	0:37:43	189
740	250	0.16	6.3	1441	11.7	14	0:39:22	197
730	260	0.24	6.4	1456	11.3	19	0:40:56	205
720	270	0.13	6.2	1469	11.9	19	0:42:35	213
710	280	0.17	6.2	1473	11.8	19	0:44:10	221
700	290	0.33	6.5	1509	11.3	19	0:45:47	229
690	300	0.13	6.2	1501	11.9	19	0:47:19	237
680	310	0.16	6.2	1490	11.9	19	0:49:05	245
670	320	0.27	6.4	1487	11.4	24	0:50:37	253
660	330	0.13	6.1	1477	12	24	0:52:12	261
650	340	0.14	6.1	1497	12	19	0:53:42	269
640	350	0.16	6.2	1516	11.8	24	0:55:13	276
630	360	0.15	6.2	1511	11.8	14	0:57:26	287
620	370	0.27	6.4	1543	11.3	19	0:59:08	296
610	380	0.13	6.1	1549	11.9	14	1:00:29	302
600	390	0.15	6.2	1534	11.7	14	1:01:39	308
590	400	0.2	6.3	1520	11.4	14	1:03:20	317
580	410	0.32	6.4	1511	11.2	14	1:04:36	323

570	420	0.13	6.1	1563	11.9	14	1:06:31	333
560	430	0.13	6	1577	12.1	14	1:08:11	341
550	440	0.14	6.1	1608	12	14	1:09:52	349
540	450	0.21	5.9	1593	12	14	1:11:25	357
530	460	0.09	5.9	1580	12	14	1:13:12	366
520	470	0.09	5.9	1570	12	14	1:14:42	374
510	480	0.09	5.9	1562	12	14	1:16:14	381
500	490	0.09	5.9	1550	12	14	1:17:47	389
490	500	0.09	5.9	1540	12	14	1:20:19	402
480	510	0.09	5.9	1530	12	14	1:21:16	406
470	520	0.09	5.9	1520	12	14	1:22:50	414
460	530	0.09	5.9	1500	12	14	1:24:47	424
450	540	0.09	5.4	1468	12.9	19	1:26:04	430
440	550	0.11	5.5	1470	12.6	14	1:27:54	440
430	560	0.11	5.9	1470	12.2	14	1:29:21	447
420	570	0.11	5.7	1513	12.4	14	1:31:03	455
410	580	0.11	5.7	1554	12.5	14	1:32:30	463
400	590	0.11	6	1500	12	14	1:33:56	470
390	600	0.21	6	1470	12	19	1:35:49	479
380	610	0.11	5.7	1460	12.3	14	1:37:14	486
370	620	0.13	5.9	1467	12.1	14	1:38:58	495
360	630	0.13	6	1456	12	19	1:40:33	503
350	640	0.12	6	1451	12	19	1:42:10	511
340	650	0.11	5.8	1436	12.2	19	1:43:48	519
330	660	0.1	5.7	1471	12.4	19	1:45:27	527
320	670	0.11	5.8	1486	12.3	14	1:46:58	535
310	680	0.12	5.8	1441	12.2	19	1:48:38	543
300	690	0.12	5.8	1434	12.2	9	1:50:04	550
290	700	0.09	5.4	1564	12.8	14	1:52:19	562
280	710	0.08	5.2	1501	13.1	9	1:53:24	567
270	720	0.09	5.1	1659	13.1	9	1:55:08	576
260	730	0.09	5.3	1563	13	9	1:56:39	583
250	740	0.09	5.2	1608	13.1	9	1:58:21	592
240	750	0.09	5.3	1592	12.9	9	2:00:21	602
230	760	0.09	5.4	1574	12.8	9	2:01:44	609
220	770	0.09	5.2	1604	13	9	2:03:08	616
210	780	0.09	5.3	1580	12.9	9	2:04:53	624
200	790	0.1	5.4	1521	12.7	9	2:06:24	632
190	800	0.1	5.5	1528	12.5	9	2:08:07	641