



UNIVERSITAS INDONESIA

**FORMULASI *CUTTING OIL* BERBAHAN DASAR EPOXY
RBDPO**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
gelar Sarjana Teknik Kimia**

**YOGI PUTRA WIRANDI
0606031995**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
PROGRAM SARJANA
DEPOK
JULI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Yogi Putra Wirandi

NPM : 0606031995

Tanda Tangan :

Tanggal : 30 juni 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :
Nama : Yogi Putra Wirandi
NPM : 0606031995
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Tesis : Formulasi *Cutting Oil* Berbahan Dasar Epoxy
RBDPO

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Ir. Sukirno Meng. ()
Penguji : Ir. Bambang Heru Susanto, MT ()
Penguji : Dr. Ir. Slamet, MT ()

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 30 Juni 2010

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT atas berkah dan rahmatNya maka saya dapat menyelesaikan skripsi ini tepat pada waktunya.

Makalah skripsi ini disusun untuk melengkapi persyaratan untuk meraih gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

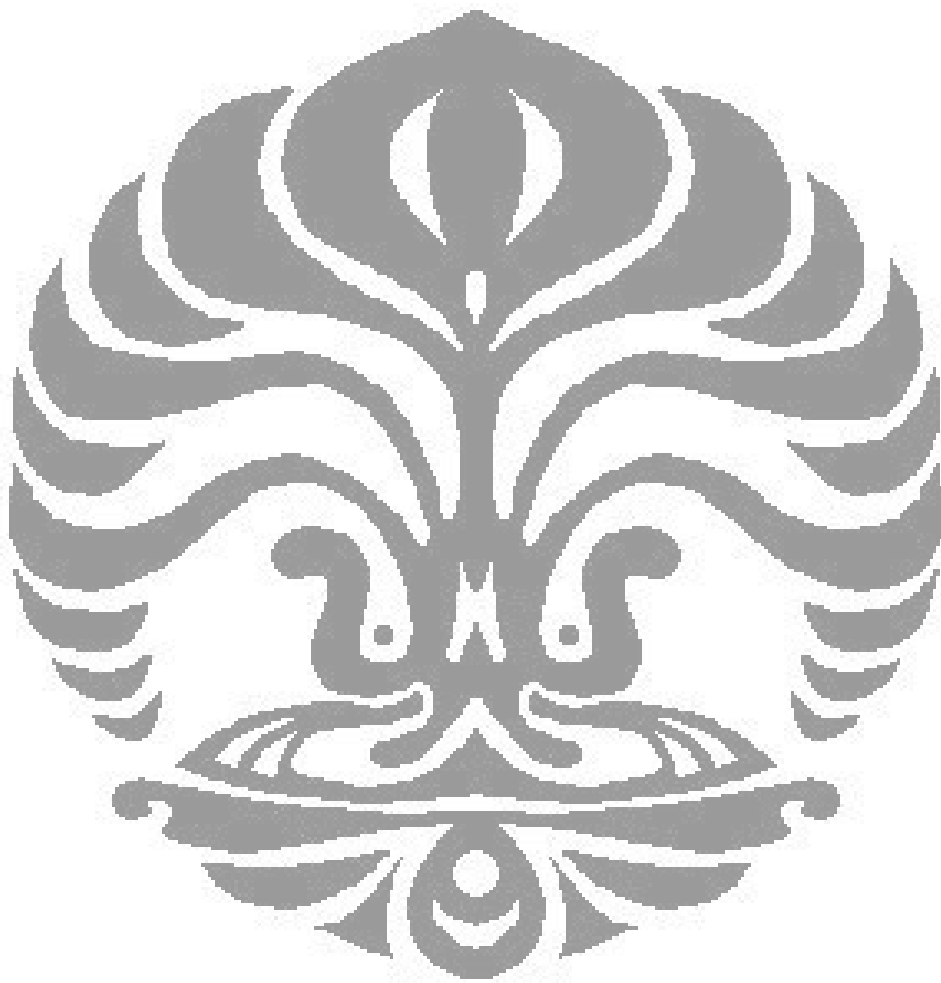
Makalah ini penulis harapkan dapat menambah pengetahuan pembaca tentang proses pembuatan *cutting oil* dari epoxy RBDPO ditambah dengan aditif-aditif.

Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu pembuatan makalah ini, yaitu

1. Bapak Dr. Ir. Sukirno selaku pembimbing skripsi atas bimbingan bantuan dan sarannya;
2. Bapak Prof. Dr. Suhardono atas bimbingan bantuan dan sarannya;
3. Para dosen Departemen Teknik Kimia FTUI yang telah memberikan ilmu dan membagi wawasannya;
4. Ayah, Ibu dan adik atas semua dukungan yang telah diberikan.
5. Sahabat baik yang selalu setia menyemangati dan menemani
6. Ferry, Fikri, dan Yasir, atas dukungan, bantuan dan kesediannya untuk melakukan penelitian bersama;
7. Teman-teman Teknik Kimia UI angkatan 2006 atas kerjasamanya selama penyusunan skripsi.
8. Semua pihak yang telah membantu penyusunan makalah skripsi ini secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis menyadari bahwa dalam makalah skripsi ini masih dapat banyak kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran membangun penulis harapkan dapat menyempurnakan skripsi ini dan perbaiki di masa yang akan datang.

Depok, 30 Juni 2010



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama : Yogi Putra Wirandi

Program Studi : Teknik Kimia

Departemen : Teknik Kimia

NPM : 0606031995

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

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

“Formulasi *cutting oil* berbahan dasar epoxy RBDPO”

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 30 Juni 2010

Yang menyatakan

(Yogi Putra Wirandi)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Sistematika Penulisan.....	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Cutting Oil.....	7
2.2 Bahan Dasar Pelumas (Base Oil).....	10
2.2.1 Minyak Mineral.....	10
2.2.2 Minyak sintesis	12
2.2.3 Minyak Natural	13
2.3 Potensi Sawit.....	14
2.4 Epoksidasi	16
2.5 Aditif	19

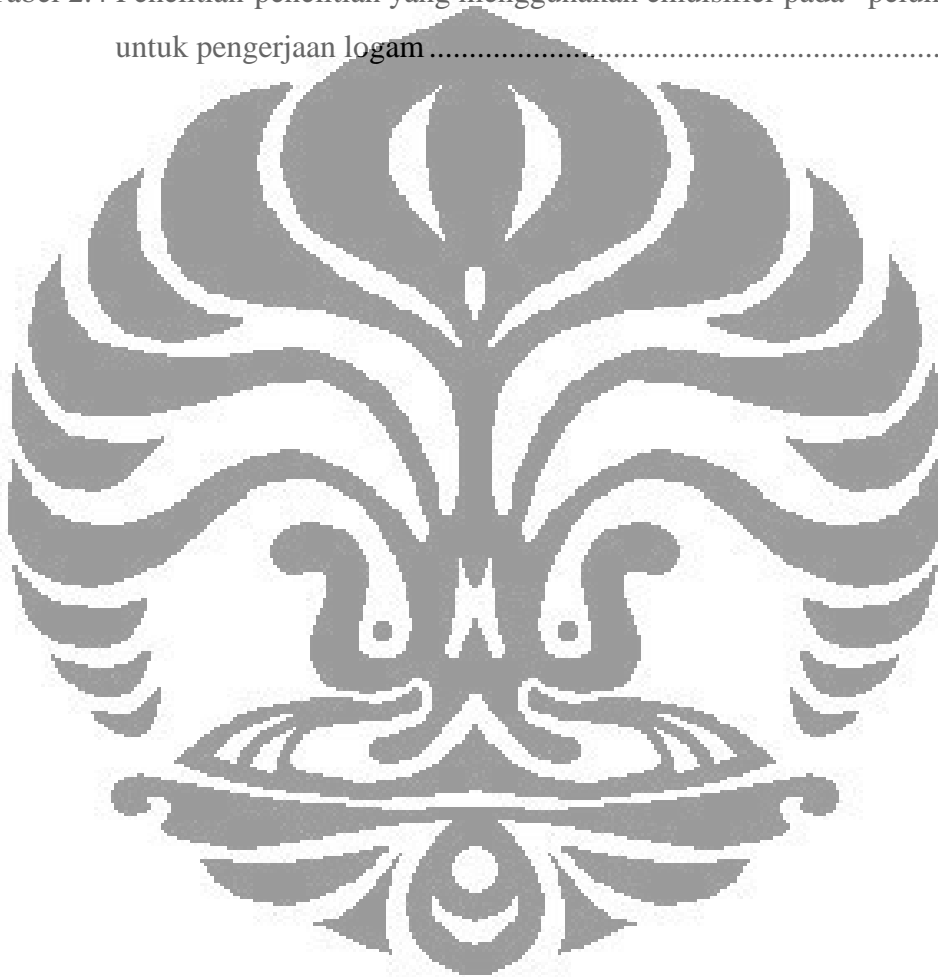
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	30
3.1 Diagram Alir Penelitian	31
3.2 Bahan dan Alat	32
3.2.1 Bahan	32
3.2.2 Alat.....	32
3.3 Prosedur Penelitian.....	32
3.3.1 Pengujian Ketahanan Oksidasi	32
3.3.2 Epoksidasi	34
3.3.3 Pengujian Kinerja emulsifier.....	35
3.3.4 Pengujian Kinerja Extreme Pressure.....	37
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	40
4.1 Uji Ketahanan Oksidasi.....	40
4.2.1 Karakteristik Hasil Uji Oksidasi.....	40
4.2.2 Memodifikasi RBDPO dengan Epoksidasi.....	42
4.3 Uji Kinerja Emulsifier.....	44
4.4 Uji Kinerja Tekanan Ekstrim	52
BAB 5 KESIMPULAN	56
DAFTAR REFERENSI	57
LAMPIRAN.....	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Mekanisme Cutting	8
Gambar 2.2	Cutting oil Sebagai Pelindung	9
Gambar 2.3	Fase Oil in Water (O/W) pada Cutting oil	9
Gambar 2.4	Epoksidasi pada Trigliserida	16
Gambar 2.5	Tahapan Proses Oksidasi pada Minyak Sawit (Branen et al., 1990)	19
Gambar 2.6	Sistem Emulsi Minyak dalam Air	23
Gambar 2.7	Struktur molekul asam lemak	27
Gambar 2.8	Pelumasan batas dengan penggunaan asam lemak	27
Gambar 2.9	Struktur Molekul Ortho-fenilfenol Sebagai Biosida	29
Gambar 3.1	Alur penelitian formulasi Cutting Oil	31
Gambar 3.2	Diagram alir metode pengujian ketahanan oksidasi	33
Gambar 3.3	Pengujian Kinerja <i>emulsifier</i>	35
Gambar 3.4	Pengujian Kinerja Tekanan Ekstrim	37
Gambar 3.5	Alat uji <i>four ball</i>	39
Gambar 4.1	Pengujian Ketahanan oksidasi Pada RBDPO dan <i>Cutting Oil</i>	41
Gambar 4.2	Mekanisme Reaksi Epoksidasi	42
Gambar 4.3	Pengujian Ketahanan Oksidasi	44
Gambar 4.4	Grafik Hubungan antara Penambahan Konsentrasi <i>emulsifier</i> dan indeks kestabilan emulsi	47
Gambar 4.5	Bagian emulsi yang terbentuk pada konsentrasi 4,25%	48
Gambar 4.6	Struktur Molekul Asam Oleat	48
Gambar 4.7	Grafik Hubungan Penambahan Konsentrasi <i>Emulsifier</i> dengan persentase Depleksi	49
Gambar 4.8	Grafik Hubungan antara Konsentrasi dengan Kestabilan Emulsi Relatif	50
Gambar 4.9	Hasil Pengujian Kinerja <i>Emulsifier</i> konsentrasi 0,25%-3,25%	51
Gambar 4.10	Hasil Pengujian Kinerja <i>Emulsifier</i> konsentrasi 4,25% dan 6,25%	51
Gambar 4.11	Histogram Hubungan Penambahan Konsentrasi Aditif <i>Extreme Pressure</i> dengan keausan <i>four ball</i>	54

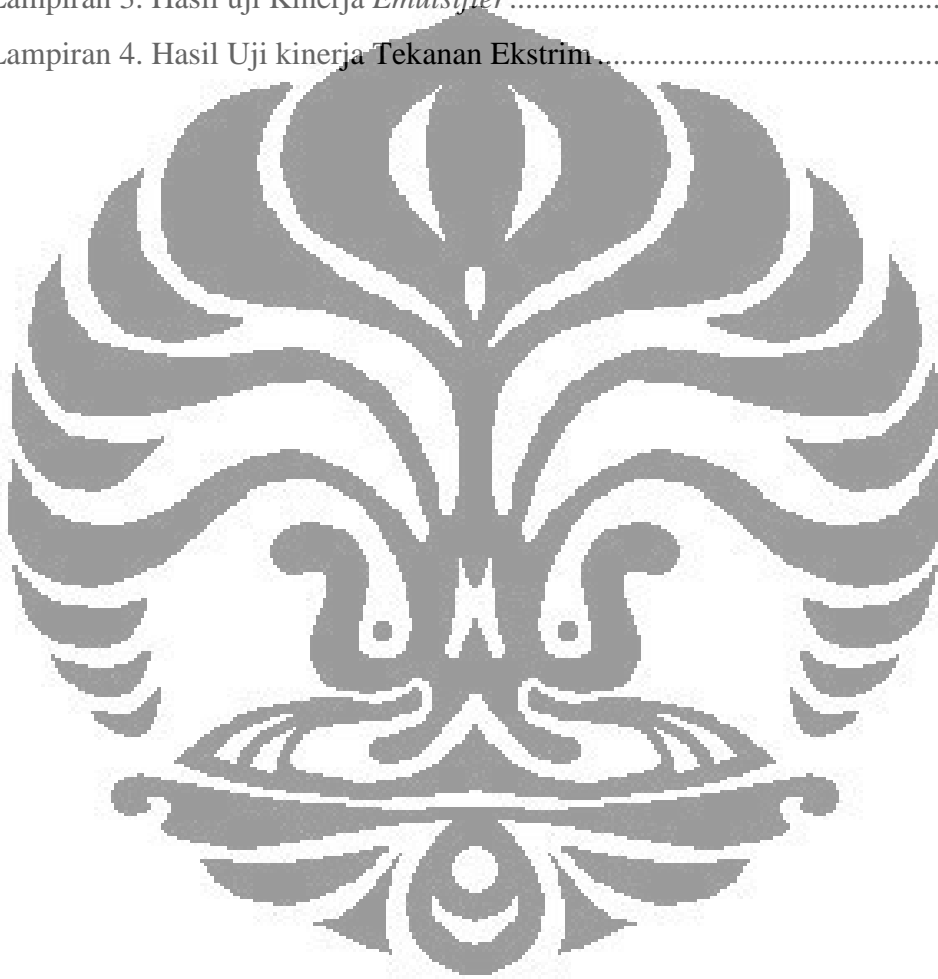
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Komponen <i>Base Oil</i>	11
Tabel 2.2 Proyeksi Produksi Minyak Kelapa Sawit (Oil World 2020)	15
Tabel 2.3 Bahan-Bahan Aditif Pelumas	20
Tabel 2.4 Penelitian-penelitian yang menggunakan emulsifier pada pelumas untuk pengerjaan logam	25



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Prosedur analisis sifat fisik, kimiawi. Pengujian Kinerja <i>Emulsifier</i> dan Kinerja Tekanan Ekstrim	60
Lampiran 2. Data Uji Ketahanan Oksidasi	63
Lampiran 3. Hasil uji Kinerja <i>Emulsifier</i>	64
Lampiran 4. Hasil Uji kinerja Tekanan Ekstrim	67



BAB 1

Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Dewasa ini, pelumas merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari mesin. Pelumas dibutuhkan mesin untuk melindungi komponen-komponen mesin dari keausan. Prinsip dasar dari pelumasan itu sendiri adalah mencegah terjadinya *solid friction* atau gesekan antara dua permukaan logam yang bergerak, sehingga gerakan dari masing-masing logam dapat lancar tanpa banyak energi yang terbuang. Pada proses pemotongan plat logam dengan menggunakan mesin pemotong, diperlukan pelumas yang memiliki efek mendinginkan dan mengurangi gesekan antara permukaan mesin pemotong dengan permukaan benda yang akan dilakukan pemotongan, pelumas ini dikenal sebagai *cutting oil*. Fungsi utama *cutting oil* ialah untuk mendinginkan dan melindungi mesin pemotong dari goresan, karat, serta kerusakan lainnya, sehingga mesin pemotong akan tetap dalam kondisi baik dan hasil pemotongan akan sesuai dengan yang diharapkan.

Cutting Oil merupakan salah satu produk pelumas proses yang digunakan sebagai bahan pembantu utama dalam industri sebagai pelumas untuk mesin pemotong. Khususnya berfungsi sebagai *coolants*, yang berfungsi untuk menjaga mesin pemotong tersebut agar tumpul dan tidak mudah terkorosi.

Cutting oil komersil sudah digunakan oleh industri-industri pemotongan logam di Indonesia, namun sampai saat ini masih tergantung pada produk impor ataupun lisensi, sehingga ketersediaannya terbatas dan harganya relatif mahal. Hal ini secara tidak langsung dapat membebani biaya produksi plat logam.

Secara umum, komponen penyusun *Cutting oil* adalah pelumas dasar dan bahan-bahan tambahan (*additive*). Oleh karena itu, karakteristik dan kinerja *cutting*

oil secara langsung ditentukan oleh mutu pelumas dasar dan aditif yang digunakan, serta hasil interaksi antara pelumas dasar dengan aditif dan antara aditif satu dengan aditif lainnya.

Pelumas dasar yang umum digunakan untuk *cutting oil* bersumber dari minyak bumi atau minyak sintesis seperti poli alfa olefin, poli glikanol dan fosfat ester (Kelly dan Foltz, 1985). Bahan-bahan tersebut memiliki beberapa kelemahan, yaitu disamping merupakan bahan tidak terbarukan (*non-renewable*) dan sebagai salah satu sumber pencemaran lingkungan, juga sifatnya yang sukar mengalir ke bagian plat bersuhu lebih tinggi, cenderung membentuk bola-bola kecil diatas permukaan plat, dan kemampuannya yang terbatas dalam membasahi permukaan logam pada suhu tertentudan menurun pada suhu yang lebih tinggi (Robertson, 1982).

Industri *cutting oil* dalam perkembangannya mulai memanfaatkan minyak nabati sebagai pelumas dasarnya, terutama minyak kelapa sawit (Cook, 1982; Kataren, *et al.* 1994). Di sisi lain, Indonesia merupakan Negara yang mempunyai sumber alam hayati yang sangat potensial dan dapat mendukung produksi *cutting oil*. Salah satu potensi sumber hayati adalah minyak sawit. Indonesia adalah produsen minyak kelapa sawit terbesar di dunia, pada tahun 2007 yang lalu produksi Indonesia mencapai 12,5 juta ton, dan pada akhir tahun 2008 diperkirakan produksi minyak kelapa sawit Indonesia mencapai 14 juta ton. Seharusnya hal ini menjadi peluang besar bagi Indonesia untuk melakukan diversifikasi produk minyak kelapa sawit menjadi bahan-bahan yang memiliki nilai manfaat dan nilai jual yang tinggi (MPOB, 2008).

Pemanfaatan minyak sawit di Indonesia masih sangat terbatas, diantaranya untuk minyak goreng, asam stearat, gliserol, olein, asam-asam lemak, margarine, sabun mandi, dan sabun cuci. Daya serap terbesar berupa produk pangan berupa pangan khususnya minyak goreng, sedang tingkat konsumsi minyak rata-rata penduduk Indonesia baru mencapai 15,46 kg/kapita pertahun (Susenas, 2006) dan ketersediaan

minyak nabati mencapai 18,50 kg/kapita/tahun (BPS, 2007). Sementara daya serap dan harga CPO di pasar dunia turun hingga mencapai US\$ 310 ton (tahun 2007) dari US\$ 676 (tahun 2007) dan US\$ 436 (tahun 2008). Hal ini mengakibatkan nilai tambah yang diperoleh agroindustri hilir minyak sawit belum maksimal. Oleh karena itu, pengembangan agroindustri hilir minyak sawit sangat diperlukan untuk meningkatkan nilai tambahnya.

Potensi minyak sawit sebagai sumber pelumas dasar *cutting oil* didukung juga oleh karakteristiknya yang secara nyata telah dapat digunakan sebagai *cutting oil*, meskipun masih banyak dijumpai kelemahan-kelemahannya. Secara umum CPO mempunyai karakteristik warna kuning pucat sampai jingga tua, aroma spesifik, relative stabil atau resisten terhadap ketengikan, dan mempunyai sifat fisiko-kimiasebagai berikut; densitas pada 50°C (891 Kg/m³), indeks refraktif (1.453-1.458), titik leleh (25-50 °C), bilangan tidak tersabunkan (0.2-0.8), bilangan iod (44-58), dan bilangan penyabunan (195-205) (Formo *et al.*, 1979; salunkhe *et al.*, 1992). Secara fisik CPO terdiri atas dua fraksi utama, yaitu fraksi olein yang memiliki bilangan iod tinggi dan titik leleh rendah, serta fraksi stearin yang memiliki bilangan iod yang lebih rendah dan titik leleh tinggi (Che man, *et al.*, 1999a). kelebihan lain CPO adalah sebagai minyak nabati atau bahan hayati yang dapat diperbarui (*renewable*) dan ramah lingkungan.

Sebelum dikembangkan minyak mineral, bahan-bahan yang digunakan sebagai bahan dasar pelumas antara lain lemak hewan dan minyak nabati seperti minyak zaitun, minyak jarak, kelapa, biji kapas dan lain-lain. Setelah penemuan bahan dasar pelumas dari minyak mineral atau minyak bumi dalam jumlah yang besar dan relatif murah, maka pemakaian bahan dasar pelumas yang berasal dari hewan dan tumbuhan menjadi jarang digunakan (Jayant Oil Mills, 1999). Namun demikian, saat ini telah muncul suatu kesadaran akan pentingnya arti pembangunan yang berkelanjutan, sehingga penggunaan produk-produk yang tidak dapat diperbaharui mulai ditinggalkan dan beralih kepada produk-produk yang dapat diperbaharui. Pada

sisi lain telah diketahui pula bahwa minyak nabati ternyata memiliki kelebihan-kelebihan untuk digunakan sebagai bahan dasar pelumas. Oleh karena itu, pengkajian penggunaan kembali sumber-sumber hayati, termasuk minyak sawit sebagai bahan dasar pelumas *cutting oil*, memiliki arti yang strategis. Pemanfaatan minyak jarak diharapkan dapat meningkatkan nilai tambah produk agroindustri secara berkelanjutan.

Untuk membuat pelumas yang sesuai dengan kriteria yang bagus, maka pelumas tersebut harus ditambahkan dengan berbagai macam aditif. Aditif merupakan bahan-bahan kimia yang perlu ditambahkan pada pelumas dasar untuk memperoleh produk *cutting oil* dengan kinerja optimal dan bermutu. Namun tidak semua aditif dapat memberikan interaksi yang sinergis, baik terhadap pelumas dasar maupun antara aditif satu dengan aditif yang lainnya. Oleh karena itu, pemilihan aditif yang mampu memberikan sinergi interaktif, baik dengan pelumas dasar maupun antar aditif, sangat diperlukan. Pada dasarnya terdapat beberapa jenis aditif yang ditambahkan untuk mendapatkan produk *cutting oil* bermutu diantaranya peningkat indeks viskositas (*viscosity index improver*), *pour depressant*, *extreme pressure agent*, *tackiness agent*, *anti wear*, *anti seizure*, *emulsifier*, *anti microorganism*, *anti oksidan*, dan *anti pembusakan*. Jika dikaji dari fungsinya dapat dikategorikan ke dalam tiga kelompok, yakni (1) melindungi kerusakan produk pelumas (*lubricant protective additives*), (2) meningkatkan kerja pelumas (*performance enhancing additives*) dan (3) melindungi permukaan kerja benda (*surface protective additives*) (Nachtman dan Kalpakjian, 1985). Penelitian ini difokuskan pada pemilihan dan formulasi pelumas dasar yang berbahan dasar minyak sawit dengan emulsifier, peningkat indeks viskositas, dan aditif tekanan ekstrim, untuk mendapatkan jenis dan komposisi terbaik.

Beragamnya penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan kinerja *cutting oil* dengan menggunakan bahan dasar minyak mineral. Namun penelitian kinerja *cutting oil* dengan menggunakan minyak nabati belum dilakukan di Indonesia dan *cutting*

oil yang digunakan masih belum ramah lingkungan. Untuk mengatasi kelemahan tersebut maka diperlukan aditif dan pelumas dasar yang ramah lingkungan. Untuk itu diperlukan formula yang baik antara pelumas dasar minyak sawit yang memiliki keunggulan lebih ramah lingkungan, dengan aditif-aditif yang mendukung sifat fungsi minyak sawit tersebut sebagai pelumas *cutting oil* yang baik.

1.2. Rumusan masalah

Bagaimana formula epoxy RBDPO sebagai *base oil* dengan penambahan aditif-aditif agar menghasilkan *cutting oil* yang memiliki fungsi pelumasan terbaik ?.

1.3. Tujuan Penelitian

1. Menghasilkan *cutting oil* berbahan dasar minyak sawit yang memiliki kestabilan emulsi, daya tahan oksidasi dan kinerja tekanan ekstrim terbaik.
2. Menghasilkan *cutting oil* berbahan dasar minyak sawit yang memiliki prospektif untuk diaplikasikan dalam industri pemotongan plat logam di Indonesia.

1.4. Batasan Masalah

Pada penelitian ini, penulis membatasi masalah sebagai berikut:

1. *Cutting oil* terdiri dari base oil dari minyak sawit, yang ditambahkan dengan aditif emulsifier, biosida, dan aditif tekanan ekstrim.
2. Modifikasi yang dilakukan pada minyak sawit sebagai base oil adalah epoksidasi.

1.5. Sistematika Penulisan

Sistematika Penulisan seminar ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Berisi Pendahuluan yang terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tinjauan pustaka yang membahas *cutting oil*, pelumas dasar, potensi sawit, epoksidasi, dan aditif

BAB III METODE PENELITIAN

Berisi tentang diagram alir penelitian, peralatan dan bahan, prosedur yang digunakan dalam penelitian dan pengolahan data

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

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

BAB V KESIMPULAN

Merupakan kesimpulan dari permasalahan yang telah dirumuskan dan hasil akhir penelitian yang dilakukan.

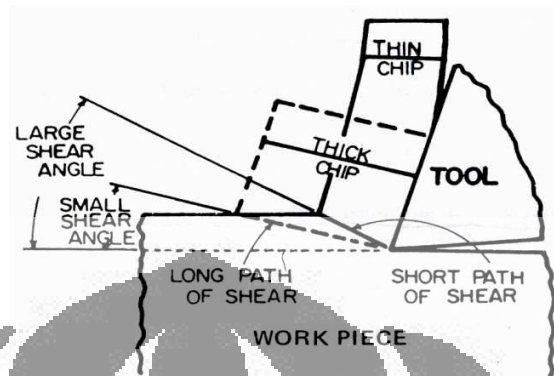
BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Cutting oil

Cutting Oil merupakan salah satu produk pelumas proses (*proses lubricants*) yang digunakan sebagai bahan pembantu utama dalam industri sebagai pelumas untuk mesin pemotong. *Cutting oil* mempunyai fungsi utama sebagai pendingin (*coolants*), karena pada dasarnya sebuah alat pemotong akan bekerja dalam kondisi temperatur 375 °C hingga 750 °C. Pada suhu proses yang setinggi ini hasil pemotongan logam akan tidak sempurna karena terbentuk serpihan-serpihan logam yang tidak diinginkan selama proses berlangsung. 75 % dari panas pada proses pemotongan dihasilkan oleh perubahan bentuk (*deformation*) dari logam, selebihnya 25% panas dihasilkan dari gesekan (*friction*) antara potongan logam dengan alat pemotong. Dengan digunakannya *cutting oil* sebagai *coolants* pada proses pemotongan, maka temperatur ekstrim yang terjadi ketika proses pemotongan berlangsung dapat dihindari, sehingga hasil pemotongan akan sempurna dan kerusakan alat pemotong dapat dihindari.

Pada saat proses pemotongan dilakukan, perubahan bentuk dari suatu logam akan mudah terbentuk apabila kondisi proses pemotongan terjadi pada suhu dan tekanan ekstrim. Jumlah perubahan bentuk tersebut sangat tergantung dari sudut potong yang terbentuk pada saat proses pemotongan dilakukan, perhatikan Gambar 1 di bawah ini:

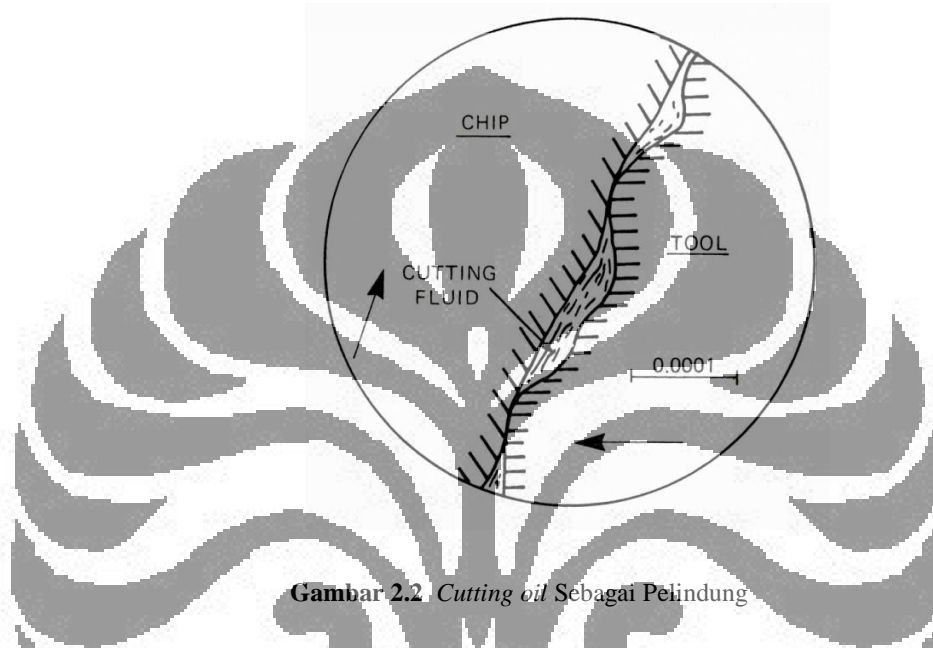


Gambar 2.1. Mekanisme *Cutting*

Gambar 2.1 menjelaskan bahwa gesekan dapat mengakibatkan sudut pemotongan yang terbentuk antara alat pemotong dan logam potong relatif kecil, sehingga hasil pemotongan logam yang terbentuk lebih tebal. Sedangkan proses pemotongan logam bertujuan untuk menghasilkan logam yang tipis, sehingga mudah untuk diolah kembali menjadi produk yang diinginkan. *cutting oil* berfungsi mengurangi gaya gesek yang terjadi pada proses pemotongan. Karena pada *cutting oil* dapat membentuk lapisan film antara alat pemotong dan logam potong, yang mengakibatkan gesekan antar logam akan berkurang, sehingga sudut pemotongan yang terbentuk akan semakin besar dan akan menghasilkan logam yang tipis (*thin chip*) dan deformasi pun tidak terjadi (Cookson, 1977).

Cutting oil termasuk dalam sistem pelumasan batas (*boundary lubrication*). Hal ini dikarenakan oleh permukaan logam satu dengan permukaan logam lain saling bersentuhan dan proses pemotongan logam yang berjalan pada beban dan kecepatan yang sangat tinggi. Sentuhan yang terjadi antar logam, diusahakan untuk tidak menimbulkan kerusakan atau keausan pada permukaan logam yang dilumasi. Jika pun terjadi keausan diusahakan seminimal mungkin. *Cutting oil* mengandung aditif bahan kimia yang dapat bereaksi dengan permukaan logam yang dilumasi dengan membentuk pelindung (Gambar 2.2). Pelindung ini bersifat sebagai pegas jika terjadi

sentuhan antara logam yang dilumasi. Sehingga dapat dihindari atau dikurangi terjadinya kerusakan atau keausan diantara logam dengan logam yang saling bersentuhan



Gambar 2.2 *Cutting oil* Sebagai Pelindung

Untuk memenuhi fungsi-fungsi cutting oil sebagai pendingin, mengurangi gesekan dan memberikan perlindungan dari keausan, maka dalam operasinya cutting oil dicampur dengan air dalam bentuk emulsi minyak dalam air (O/W) (Gambar 2.3). Emulsi O/W secara luas digunakan sebagai pelumasan proses pengerjaan logam dan pemotongan pada proses kecepatan tinggi seperti proses pemotongan.



Gambar 2.3 Fase Oil in Water (O/W) pada *Cutting oil*

Secara umum, komponen penyusun *Cutting oil* adalah pelumas dasar dan bahan-bahan tambahan. Oleh karena itu, karakteristik dan kinerja *cutting oil* secara langsung ditentukan oleh mutu pelumas dasar dan aditif yang digunakan, serta hasil interaksi antara pelumas dasar dengan aditif dan antara aditif satu dengan aditif lainnya.

2.2 Bahan Dasar Pelumas (Base Oil)

Material yang dapat digunakan sebagai bahan dasar untuk pembuatan pelumas adalah sebagai berikut:

1. Bahan dari mineral yang dapat menghasilkan minyak, seperti minyak bumi yang dapat digunakan untuk membuat minyak mineral sebagai bahan dasar pelumas yang disebut sebagai minyak mineral.
2. Bahan yang berasal dari senyawa kimia sintetis dalam bentuk senyawa polimer yang dikenal dengan minyak sintetis.
3. Bahan yang berasal dari minyak tumbuh-tumbuhan maupun lemak hewan yang disebut minyak natural.

2.2.1 Minyak Mineral

Pelumas dasar yang umum digunakan untuk *cutting oil* bersumber dari minyak bumi (*mineral oil*) (Kelly dan Foltz, 1985). Menurut La Puppung (1986) bahan dasar pelumas dari minyak mineral memiliki beberapa kelebihan sebagai berikut: (1) tersedia dalam jumlah yang cukup besar dengan harga yang relatif murah. (2) daerah suhu operasi cukup lebar, meliputi hampir seluruh variasi suhu pemakaian dalam industri, mesin-mesin transportasi, alat-alat berat, dan mesin-mesin lainnya, (3) dapat dicampur dengan bahan-bahan aditif sehingga dapat meningkatkan mutu dan kinerja, (4) stabil selama penyimpanan. Namun demikian minyak mineral memiliki

beberapa kelemahan, antara lain (1) cenderung membentuk bola-bola kecil (sphere) diatas permukaan pelat, karena membentuk holding force antar molekul, (2) kemampuan melumasi permukaan logam terbatas pada suhu tertentu (tidak lebih dari 205⁰C), dan kemampuan melumas akan turun apabila berada pada suhu tinggi serta (3) Bahan-bahan tersebut merupakan bahan tidak terbarukan , sebagai salah satu sumber pencemaran lingkungan, dan sulit untuk membentuk emulsi di dalam air (Robertson, 1982).

Tabel 2.1 Karakteristik Komponen *base oil*

Golongan Senyawa Hidrokarbon	Viskositas	Indeks Viskositas	Stabilitas Oksidasi	Titik Tuang
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

2.2.2 Minyak Sintesis (*Synthetic Oil*)

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

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

Pelumas sintesis 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 buruk untuk pelumasan. Sedangkan pelumas sintesis merupakan pelumas buatan manusia yang dirancang sedemikian rupa sehingga struktur molekul dari campuran dapat diatur sesuai dengan sifat-sifat yang diharapkan atau yang diinginkan. Pelumas sintesis juga dapat diolah sehingga memiliki sifat-sifat yang unik yang tidak dimiliki oleh pelumas dari minyak mineral, misalnya sifat yang *nonflammable*, dapat terlarut dalam air, dan lain-lain. Dengan begitu, penggunaan pelumas sintesis 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 sintesis, sehingga untuk kerja pelumas tersebut tidak memadai.

Keuntungan penggunaan pelumas sintesis lainnya adalah kestabilannya yang tinggi terhadap temperature. Pelumas sintesis tetap stabil pada temperatur yang sangat tinggi dan memiliki karakteristik aliran yang menonjol walaupun pada temperatur yang sangat rendah pelumas sintesis dapat terbuat dari bahan-bahan seperti

hidrokarbon sintetis, ester-ester organik, poliglikol, ester-ester fosfat, dan fluida sintetis lainnya. Ada tujuh jenis *base oil* untuk pelumas sintetis yang paling banyak digunakan yaitu:

- *Polyalphaolefins (poly α -Olefin/ PAO)*
- *Alkylated aromatics*
- *Polybutenes*
- *Aliphatic diesters*
- *Polyolesters*

2.2.3 Minyak Natural (Lemak Hewani dan Lemak Nabati)

Industri *cutting oil* dalam perkembangannya mulai memanfaatkan minyak nabati sebagai pelumas dasarnya, terutama minyak kelapa sawit (Cook, 1982; Kataren, *et al.* 1994). Minyak nabati sebagai bahan dasar pelumas memiliki beberapa keunggulan antara lain : (1) mudah mengalir dari suhu pelat yang lebih rendah ke bagian pelat yang bersuhu lebih tinggi, karena kekentalan minyak berkurang akibat kenaikan suhu, (2) mudah membentuk emulsi dengan air, jika ditambahkan emulsifier dan emulsi yang terbentuk relative stabil. Sifat tersebut menguntungkan untuk tujuan pelumasan tertentu, misalnya dalam proses pemotongan pelat logam dengan menggunakan *cutting oil*, (3) daya lumas lebih baik daripada minyak mineral, (4) melekat lebih baik pada bidang-bidang logam yang basah dan lembab (Natchman dan Kalpakjian, 1985). Di sisi lain, Indonesia merupakan Negara yang mempunyai sumber alam hayati yang sangat potensial dan dapat mendukung produksi *cutting oil*. Salah satu potensi sumber hayati adalah minyak sawit. Indonesia adalah produsen minyak kelapa sawit terbesar di dunia, pada tahun 2007 yang lalu produksi Indonesia mencapai 12,5 juta ton, dan pada akhir tahun 2008 diperkirakan produksi minyak kelapa sawit Indonesia mencapai 14 juta ton. Seharusnya hal ini menjadi peluang

besar bagi Indonesia untuk melakukan diversifikasi produk minyak kelapa sawit menjadi bahan-bahan yang memiliki nilai manfaat dan nilai jual yang tinggi. (MPOB, 2008).

Potensi minyak sawit sebagai sumber pelumas dasar *cutting oil* didukung juga oleh karakteristiknya yang secara nyata telah dapat digunakan sebagai *cutting oil*, meskipun masih banyak dijumpai kelemahan-kelemahannya. Secara umum minyak sawit mempunyai karakteristik warna kuning pucat sampai jingga tua, aroma spesifik, relative stabil atau resisten terhadap ketengikan, dan mempunyai sifat fisiko-kimia sebagai berikut; densitas pada 50⁰C (891 Kg/m³), indeks refraktif (1.453-1.458), titik leleh (25-50 ⁰C), bilangan tidak tersabunkan (0.2-0.8), bilangan iod (44-58), dan bilangan penyabunan (195-205) (Formo *et al.*.,1979; salunkhe *et al.*, 1992). Secara fisik CPO terdiri atas dua fraksi utama, yaitu fraksi olein yang memiliki bilangan iod tinggi dan titik leleh rendah, serta fraksi stearin yang memiliki bilangan iod yang lebih rendah dan titik leleh tinggi (Che man, *et al.*, 1999a). kelebihan lain CPO adalah sebagai minyak nabati atau bahan hayati yang dapat diperbarui dan ramah lingkungan.

2.3. Potensi Sawit

Minyak kelapa sawit merupakan minyak nabati yang berasal dari tanaman kelapa sawit. Tanaman kelapa sawit (*Elaeis guinensis*) berasal dari Guinea di pesisir Afrika Barat, kemudian diperkenalkan ke bagian Afrika lainnya, Asia Tenggara dan Amerika Latin sepanjang garis equator yaitu antara garis lintang utara 15⁰C dan lintang selatan 12⁰C (Rondang T. 2006). Kelapa sawit merupakan komoditi nonmigas yang telah ditetapkan sebagai komoditi yang dikembangkan menjadi produk lain untuk diekspor. Produksi kelapa sawit di Indonesia selalu mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Direktorat jenderal Perkebunan (2005) memperkirakan produksi minyak kelapa sawit pada tahun 2010 di Indonesia akan mencapai urutan pertama produksi minyak sawit dunia dengan jumlah produksi 12.293.000 ton. Peningkatan produksi minyak tersebut akan berdampak baik terhadap pendapatan masyarakat

Indonesia khususnya petani kelapa sawit, jika peningkatan tersebut disertai dengan upaya peningkatan nilai ekonomis minyak kelapa sawit dengan peningkatan daya guna yang menghasilkan produk bernilai ekonomi tinggi.

Keunggulan komoditas sawit terkait dengan produk olahan yang dihasilkan, seperti minyak kelapa sawit kasar (*crude palm oil*), minyak inti sawit (*palm kernel oil*) dan produk olahan ikutan lainnya. Minyak sawit menjadi produk ekspor andalan karena memiliki biaya produksi lebih efisien dibanding dengan Negara produsen pesaing (Malaysia). Hasil produksi minyak kelapa sawit Indonesia dapat dilihat pada Tabel 2.2 di bawah ini.

Tabel 2.2 Proyeksi Produksi Minyak Kelapa Sawit (Oil World 2020)

Year	Malaysia	Indonesia	World Total
Annual Production			
2000	10,100 (49.3%)	6,700 (32.7%)	20,495
2001	10,700 (48.1%)	7,720 (34.7%)	22,253
2002	10,980 (48.4%)	7,815 (34.5%)	22,682
2003	11,050 (47.7%)	8,000 (34.6%)	23,149
2004	10,900 (45.6%)	8,700 (36.4%)	23,901
2005	11,700 (45.6%)	9,400 (36.6%)	25,666
Five-year Averages			
1996–2000	9,922 (50.3%)	5,445 (30.4%)	17,932
2001–2005	11,036 (47.0%)	8,327 (35.4%)	23,530
2006–2010	12,700 (43.4%)	11,496 (39.0%)	29,210
2011–2015	14,100 (40.2%)	14,800 (42.2%)	35,064
2016–2020	15,400 (37.7%)	18,000 (44.1%)	40,800

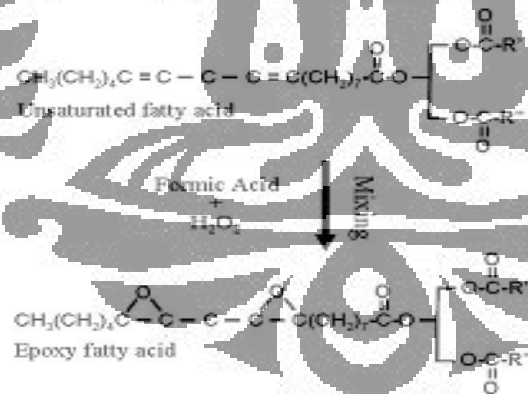
Keterangan: dalam juta ton

Dari Tabel 2.2 terlihat bahwa produksi minyak kelapa Sawit Indonesia cukup besar, bahkan diproyeksikan pada tahun 2015 Indonesia menjadi produsen minyak kelapa sawit terbesar di dunia dengan produksi rata-rata pertahun sekitar 14,8 milyar ton (Hai, 2002). Seharusnya hal ini menjadi peluang besar bagi Indonesia untuk melakukan diversifikasi produk minyak kelapa sawit menjadi bahan-bahan yang memiliki nilai manfaat dan nilai jual yang tinggi.

Produk olahan sawit yang di ekspor oleh Indonesia sebagian besar masih dalam produk antara, sehingga nilai tambah yang dapat diambil dari agroindustri sawit masih belum optimal. Untuk itu, pengembangan industri hilir dimasa mendatang perlu mendapatkan perhatian dan diprioritaskan. Hal ini selain meningkatkan nilai tambah juga memperkuat daya saing, melalui peningkatan kemampuan menghasilkan produk sesuai dengan atribut-atribut nilai yang dituntut oleh konsumen.

2.4. Epoksidasi

Epoksidasi merupakan metode untuk meningkatkan stabilitas dari suatu nabati oil agar ikatan rangkap yang terdapat pada nabati oil tidak teroksidasi. Epoksidasi nabati oil dapat dilakukan dengan menambahkan senyawa asam (H_2O_2 , $HCOOH$ dll) ke nabati oil. Adapun skema terjadinya epoksidasi dapat dilihat pada Gambar 2.4 di bawah ini.



Gambar 2.4 Epoksidasi pada Triglicerida (Branen, 1990)

Pada Gambar 2.4, ikatan rangkap yang terdapat pada nabati oil bersifat tidak stabil, sehingga ikatan rangkap tersebut lebih mudah untuk putus dan berikatan dengan senyawa lain. Untuk itu epoksidasi harus dilakukan agar ikatan rangkap

tersebut dapat putus dan menjadi ikatan tunggal yang stabil. Hal ini dilakukan untuk menghindari terjadinya oksidasi pada nabati oil tersebut, karena apabila senyawa oksida terdapat didalam *cutting oil*, maka dapat memicu terjadinya korosi pada alat pemotong yang dilumasi. Selain itu Branen (1990) menyebutkan tentang terbentuknya senyawa rantai karbon pendek akibat oksidasi pada nabati oil. Peningkatan senyawa rantai karbon pendek ini dapat mengakibatkan penurunan viskositas pada nabati oil. Proses oksidasi pada pelumas berlangsung dalam tiga tahap yaitu inisiasi, propagasi dan terminasi. Tahap ini dapat dilihat padamekanisme reaksi berikut:

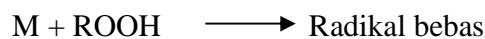
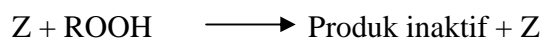
Inisiasi



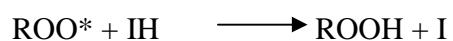
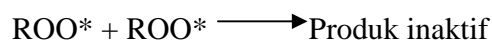
Propagasi



Dekomposisi Peroksida



Terminasi



RH = Zat organik/hidrokarbon

ROO* = Radikal peroksida

ROOH = Hidroperoksida

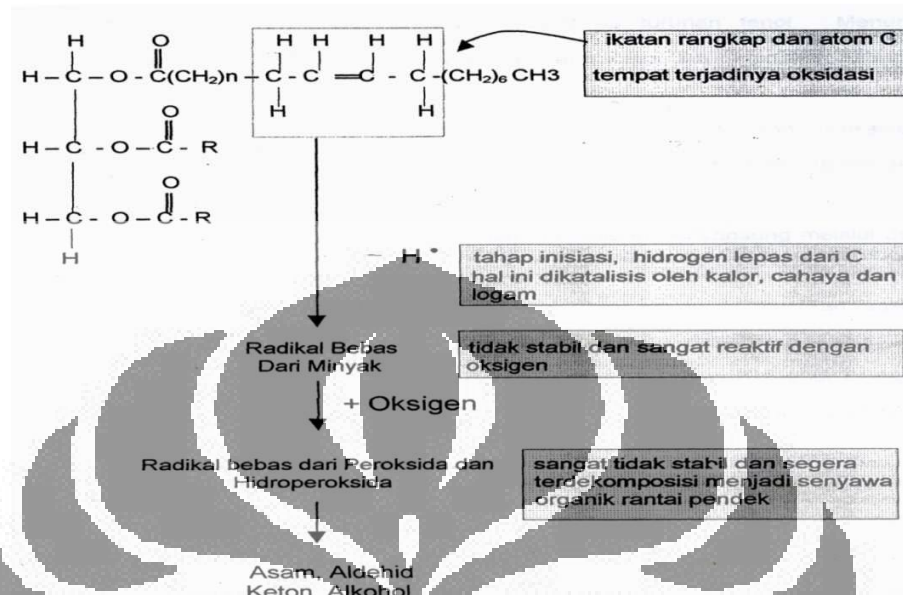
X, Y, M = Pengurai peroksida

M = Metal

I = Radikal stabil/tidak reaktif

IH = Penghambat rantai radikal

Berdasarkan teori yang berlaku pada minyak/lemak (Braunen, 1990; Belitz dan Grosch, 1999) bahwa sebuah atom hidrogen yang terikat pada suatu atom karbon yang letaknya disebelah atom karbon lain yang mempunyai ikatan rangkap dapat disingkirkan oleh suatu kuantum energi sehingga membentuk radikal bebas. Kemudian radikal tersebut, dengan adanya O_2 dapat membentuk peroksida aktif yang selanjutnya dapat membentuk hidroperoksida yang bersifat sangat tidak stabil dan mudah pecah menjadi senyawa dengan rantai atom karbon yang lebih pendek oleh radiasi energi tinggi, energi panas, katalis logam atau enzim. Senyawa dengan rantai karbon lebih pendek tersebut adalah asam-asam lemak organik, aldehid dan keton yang bersifat *volatile* (Gambar 2.5).



Gambar 2.5 Tahapan Proses Oksidasi pada Minyak Sawit (Branen *et al.*, 1990)

Penghambatan oksidasi lipida oleh epoksidasi berlangsung karena adanya reaksi langsung antara radikal lipida dengan senyawa epoksidasi, sehingga menghasilkan senyawa lipida yang stabil serta menghasilkan radikal yang bersifat antioksidan. Radikal antioksidan tersebut dapat menghambat terjadinya propagasi pada oksidasi (Belitz dan Grosch, 1999).

2.5 Aditif

Kualitas pelumas pada dasarnya ditentukan oleh tiga hal yaitu (1) mutu bahan dasar pelumas (*basic lubricant*), (2) proses pengolahan bahan dasar pelumas dan (3) bahan aditif yang dicampurkan pada bahan dasar pelumas. Menurut Wartawan (1985), bahan aditif ditambahkan dalam pelumas dengan maksud untuk meningkatkan sifat-sifat kimiawi maupun fisik yang diinginkan. Misalnya, penambahan aditif indeks viskositas *improver* bertujuan untuk meningkatkan kemampuan pelumas agar tidak berubah viskositasnya akibat kenaikan suhu.

Demikian pula penambahan aditif antioksidan bertujuan untuk meningkatkan kemampuan pelumas dari terjadinya oksidasi. Tabel 2.3 memperlihatkan fungsi beberapa bahan aditif pelumas.

Tabel 2.3 Bahan-Bahan Aditif Pelumas (Natchman dan Kalpakjian, 1985)

Jenis aditif	Bahan yang digunakan	Kegunaan
1. <i>dispersanti</i> diterjen	alkil poliamid, produk alkil P_2S_5 , metal sulfonat	Menjaga kebersihan mesin dengan melarutkan kotoran yang masuk
2. Indeks Viskositas <i>Improver</i>	Poli meta krilat, olimer butilen, polimerisasi olefin atau iso olefin, Polimer alkilat styrene	Memperkecil perubahan viskositas oleh karena perubahan suhu
3. Penghambat oksidasi	Zn ditiofosfat, hindered fenol, amin aromatic	Menghambat terjadinya oksidasi pelumas yang membentuk endapan
4. Penghambat korosi	Zn ditiofosfat, metal fenolat, metal sulfonat	Menghambat terjadinya korosi pada bantalan dan bagian mesin lainnya
5. <i>pour point depresant</i>	Poli metakrilat, alkil naftalen	Menurunkan titik tuang pelumas
6. Penghambat busa	Polimer silikon	Menghambat terbentuknya busa

Substansi tambahan yang terdapat dalam pelumas dan berupa kandungan sintetik atau campurannya dikenal dengan nama kolektif aditif. Beberapa aditif berpengaruh terhadap sifat fisik pada minyak dasar karakteristik viskositas oleh karena perubahan suhu, kecenderungan terjadi Kristal dan sebagainya), dan lainnya memiliki efek kimiawi (Klaman, 1984). Penambahan aditif dapat memberi pengaruh sinergistik atau justru sebaliknya mengarah pada pengaruh antagonistic. Untuk itu, mengetahui kesesuaian antara aditif melalui kinerja interaksinya yang saling mempengaruhi antara satu dengan lainnya merupakan hal yang sangat penting. Atas dasar pertimbangan tersebut, dalam perkembangan teknologi di bidang aditif ditemukan aditif yang mempunyai beberapa fungsi.

Klasifikasi lainnya dibedakan atas peran aditif dalam meningkatkan sifat minyak dasar yang ditamapkannya dalam proses produksi adalah sifat minyak pada suhu rendah dan sifat viskositas minyak terhadap perubahan suhu (*viscosity-temperature characteristic*), dan aditif yang memberikan sifat pada fraksi tidak diproses sebagaimana aslinya, seperti kecenderungan pembentukan emulsi, sifat anti korosi, dan sifat tekanan tinggi.

Liston (1992) melaporkan bahwa penambahan zat aditif mempunyai beberapa tujuan terutama untuk meningkatkan sifat dan kinerja pelumas. Berdasarkan interaksinya dengan bahan bakar yang dilumasi, aditif dapat dikategorikan sebagai aditif yang mempengaruhi sifat fisik pelumas (*titik tuang, viskositas dan sebagainya*) dan aditif yang mempengaruhi sifat kimia pelumas (*ketahanan terhadap oksidasi, tekanan ekstrim dan sebagainya*). Keberhasilan dalam mengkombinasikan kedua kategori tersebut akan menghasilkan pelumas dengan sifat yang baik.

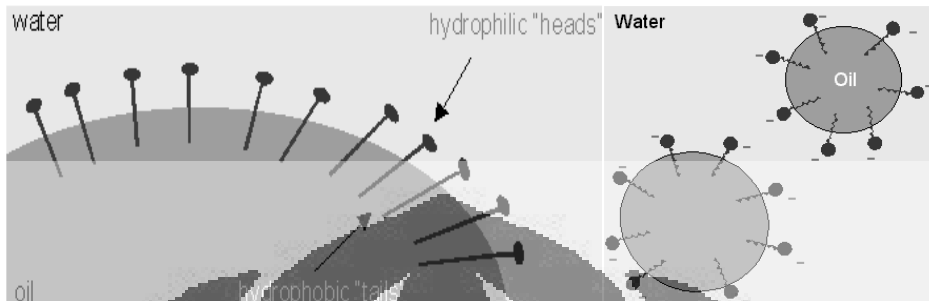
Natchman dan Kalpakjian (1985) menyebutkan aditif yang biasa digunakan untuk pelumas pengerjaan logam antara lain *emulsifier, coplers, pengental, tackiness agent, detergen, plastisizer, antioksidan, antimisting agent, dispersan, extreme pressure agent, pasivator, anti busa, alkali, pematat, penghilang bau, anti korosi, peningkat indeks viskositas, pelarut, anti friksi, serta biosida*.

1. Emulsifier

Pada proses pemotongan, *cutting oil* yang digunakan berbentuk emulsi, yaitu suatu dispersi atau suspensi suatu cairan dalam cairan lain, dimana dua cairan tersebut tidak saling berbaur tetapi saling antagonistic. Cairan tersebut biasanya berbentuk droplet-droplet berukuran kecil. Emulsi dapat dibedakan menjadi dua tipe. Emulsi tipe O/W (oil in water), merupakan emulsi minyak yang tersebar dalam air. Emulsi tipe W/O (water in oil), merupakan emulsi air tersebar dalam minyak. Emulsi tipe O/W merupakan emulsi yang digunakan dalam *cutting oil*.

Emulsifier atau zat pengemulsi didefinisikan sebagai senyawa yang mempunyai aktivitas permukaan sehingga dapat menurunkan tegangan permukaan antara udara-cairan dan cairan-cairan yang terdapat dalam suatu sistem makanan. Kemampuannya menurunkan tegangan permukaan menjadi hal yang menarik karena *emulsifier* memiliki keajaiban struktur kimia yang mampu menyatukan dua senyawa berbeda polaritasnya. Tingkat penurunan tegangan permukaan oleh senyawa pengemulsi berkisar antara 50 dyne/cm hingga kurang dari 10 dyne/cm jika digunakan pada konsentrasi lebih kecil dari 0,2 persen.

Emulsifier memiliki ujung non polar (yang tidak bermuatan dan memiliki afinitas terhadap minyak), dan ujung polar (yang memiliki muatan dan afinitas terhadap air), hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.6. Ujung polar akan berikatan dengan air, dan ujung non polar akan berikatan dengan minyak. Hal ini akan membantu kedua fasa (minyak dan air) untuk tetap tercampur membentuk emulsi. Emulsi air dan minyak dapat digolongkan menjadi dua. Pertama, yaitu sistem emulsi di mana tetes-tetes minyak terdispersi dalam air dan disebut *oil in water* (O/W). Golongan kedua adalah sebaliknya, yaitu emulsi di mana tetes-tetes air terdispersi dalam minyak dan disebut *water in oil* (W/O).



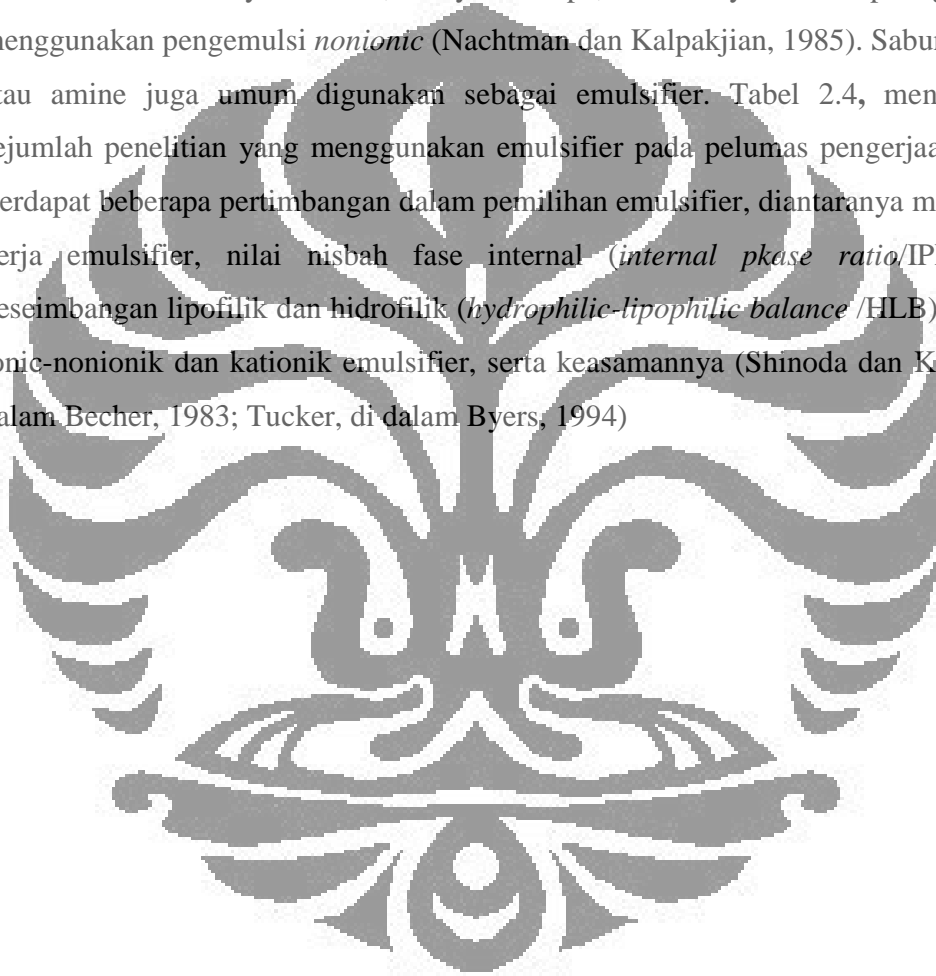
Gambar 2.6 Sistem Emulsi Minyak dalam Air (Bird, *et al.*, 1993)

Emulsifier adalah bahan baku atau komponen kimia yang dapat berfungsi sebagai pengemulsi dan memberikan stabilitas emulsi air dalam minyak (W/O) atau minyak dalam air (O/W) (Bird, *et al.*, 1993; Shinoda dan Kunieda di dalam Becher, 1983). Penggunaan emulsifier pada jumlah yang tinggi dapat meningkatkan fungsi pendinginan air, karena panas spesifiknya dan konduktivitas termal air tinggi. Pelumas yang mengandung air secara bertingkat dapat digunakan untuk mengawetkan cadangan dasar petroleum (o'brien, 1983).

Beberapa emulsifier yang sering digunakan antara lain, sabun dari lemak dan asam lemak, natrium dan kalsium sulfonat dengan bobot molekul rendah dan natrium serta kalsium naftenat dengan bobot molekul rendah. Nachtmann dan Kalpakjian, (1985) menjelaskan bahwa surfaktan anionic dan kationik, digunakan untuk memformulasi.

Pengemulsi fluida dalam pengerjaan logam. Beberapa pengemulsi kationik adalah etoksilasi alcohol atau fenol, asam lemak dan alcohol, monogliserida, ester-ester propilena glikol dan ester sorbatan. Di lain pihak pengemulsi nonionic adalah garam asam karboksil, sabun dan turunan asam lemak rantai panjang dari minyak nabati, turunan asam abietat dari resin dan naftenat ester fosfat dan alkil sulfonat aromatic dan sulfonat alami, produk samping pemurnian minyak putih atau sulfonat sintetik, serta bahan-bahan tertentu yang diproduksi melalui pendekatan sulfonasi polimer.

Pengemulsi *nonionic* juga memiliki fenomena yang menarik karena mencakup keseluruhan keseimbangan skala lipofilik-hidrofilik. Pada umumnya pengemulsi nonionic lebih ekspansif sehingga pengemulsi nonionic lebih luas digunakan dalam memformulasi pelumas. Sabun yang merupakan garam asam lemak rantai panjang dari lemak dan minyak *tallow*, minyak kelapa, dan minyak sawit paling banyak menggunakan pengemulsi *nonionic* (Nachtman dan Kalpakjian, 1985). Sabun natrium atau amine juga umum digunakan sebagai emulsifier. Tabel 2.4, menunjukkan sejumlah penelitian yang menggunakan emulsifier pada pelumas pengerjaan logam. Terdapat beberapa pertimbangan dalam pemilihan emulsifier, diantaranya mekanisme kerja emulsifier, nilai nisbah fase internal (*internal phase ratio*/IPR), nilai keseimbangan lipofilik dan hidrofilik (*hydrophilic-lipophilic balance* /HLB) dan sifat ionic-nonionik dan kationik emulsifier, serta keasamannya (Shinoda dan Kunieda di dalam Becher, 1983; Tucker, di dalam Byers, 1994)



Tabel 2.4 Penelitian-Penelitian yang Menggunakan Emulsifier pada Pelumas untuk Pengerjaan Logam

Penulis	Aditif	Keterangan
O'Brien di dalam Booser, 1983	Sabun-sabun lemak dan asam lemak Na dan Ca sulfonat berbobot molekul rendah Na dan Ca Naftenat berbobot molekul rendah	Pengerjaan logam
Nachtman dan Kalpakjian, 1985	Etoksilasi alkohol atau fenol Asam lemak dan alkohol monogliserida Ester-ester propilena glikol dan ester sorbitan	Pengemulsi kationik Pengerjaan logam
	Garam asam karboksil sabun dan turunan asam lemak rantai panjang dan lemak nabati Turunan asam abietat dari resin dan naftenat ester fosfat dan alkil sulfonat aromatic dan sulfonat alami Sulfonat sintetik Sulfonasi polimer	Pengemulsi tonic Pengerjaan logam
Hamaguchi, et al., 1977	Sorbitan monopalmitat dan polioksitilena (20) Sorbitan monopalmitat	Minyak dasar: paraffin Kecepatan rolling : 0,54 Ketebalan film : <0,2 μ m
Kihara, et al. 1980	Eter polioksietilena (n) nonilfinil eter	Minyak dasar : tallow Kecepatan roll : 0,83-16,6 m/s Rataan ukuran globula: 2-5 μ m
Kimura and okada, 1985	Eter polioksitilena nonilfenil	Minyak dasar : beef tallow Kecepatan roll : 3,1m/s

2. Aditif Tekanan Ekstrim

Aditif tekanan ekstrim (*Extreme-pressure Additive*) adalah aditif kelas khusus untuk pelumas batas (*boundary lubricant additive*) yang aktif dan bereaksi dengan permukaan logam untuk membentuk senyawa atau campuran dengan geseran lebih rendah dibandingkan logam. Senyawa geseran rendah tersebut diberikan oleh pelumas (O'Brien, 1983).

Pada kondisi pelumasan hidrodinamik, tebal lapisan pelumas melebihi tinggi asperiti (tonjolan-tonjolan pada permukaan) logam, sehingga seluruh permukaan dapat dipisahkan oleh lapisan pelumas. Pada kondisi tersebut viskositas pelumas dapat mengatasi terjadinya gesekan atau keausan. Pada kondisi pelumasan batas, lapisan pelumas sangat tipis sehingga terjadi kontak langsung pada sebagian permukaan logam. Akibatnya gesekan ataupun keausan akan sangat mungkin terjadi. Pada pelumasan tersebut kinerja pelumas sangat tergantung pada sifat lapisan batas (*boundary lubrication*), yaitu kemampuan melindungi permukaan logam dibawahnya dari gesekan dan keausan.

Pelumas akan membentuk lapisan tipis diantara dua permukaan logam yang bergerak. Apabila pada lapisan tersebut dikenakan tekanan dan kecepatan yang tinggi seperti yang terjadi apabila logam dilakukan pemotongan, maka lapisan tersebut akan sulit untuk memberikan pelumasan yang baik dan akibatnya kontak logam dengan logam akan terjadi. Untuk mengatasi hal tersebut, pada pelumas perlu ditambahkan aditif EP (*extreme pressure agent*). Umumnya bahan tersebut mengandung klorida, sulfur dan fosfor. Aditif EP dapat membentuk lapisan tipis (film) yang melekat pada permukaan logam, sehingga dapat mencegah kontak langsung antara logam dengan logam (Subardjo, 1985; Rizvi, 1998).

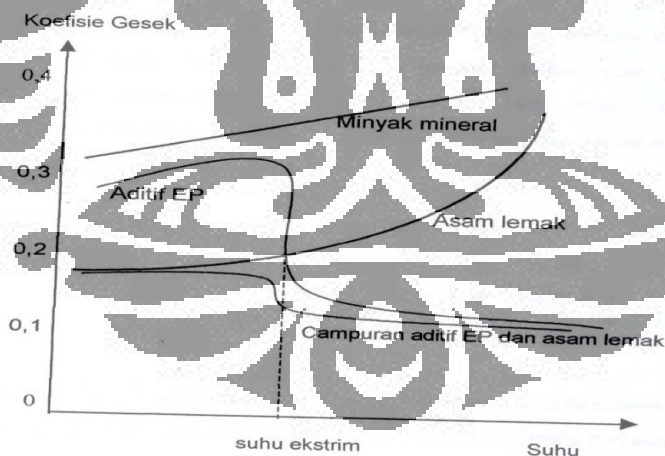
Asam lemak merupakan rantai panjang yang mempunyai gugus karboksilat pada ujungnya. Gugus karboksilat pada ujung molekul tersebut mempunyai kemampuan untuk membentuk ikatan kimia dengan permukaan logam. Bagian molekul yang aktif tersebut, disebut bagian polar (seperti pada Gambar 2.8), yang

dapat melekat pada logam dengan ikatan yang cukup kuat, sehingga dapat melindungi terjadinya benturan selama berlangsung kontak di antara logam. Molekul asam lemak merupakan rantai panjang yang mempunyai berat molekul yang tinggi. Salah satu struktur molekul dari asam lemak yang dapat dilihat pada gambar 2.7 dibawah ini.



Gambar 2.7 Struktur molekul asam lemak (O'Brien, 1983)

Pada proses pelumasan, molekul asam lemak dengan ujung polarnya melekat pada permukaan logam yang dilumasi seperti pada Gambar 2.8 dibawah ini.



Gambar 2.8 Pelumasan batas dengan penggunaan asam lemak (Kajdas, 1997)

Asam lemak akan sangat efektif digunakan sebagai pelumas batas apabila dapat bereaksi dengan logam yang dilumasi yang kemudian membentuk sabun. Pelumasan tidak terjadi secara fisik yaitu dengan terabsorbsinya lapisan selaput tipis asam lemak

pada permukaan logam, tetapi terjadi melalui reaksi kimia yang membentuk sabun pada permukaan logam yang dilumasi (Kajdas, 1997)

Pada pelumasan dengan kondisi tekanan dan kecepatan luncur yang tinggi, maka diperlukan suatu kategori pelumasan batas khusus yang reaksi kimianya terjadi pada suhu tinggi. Untuk pelumasan tersebut, dibutuhkan penambahan bahan kimia aktif yang dapat membantu pelumas bekerja pada kondisi tekanan ekstrim dan suhu tinggi. Bahan kimia yang ditambahkan pada pelumas tersebut ialah aditif *extreme pressure agent*.

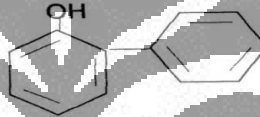
Nachtman dan Kalpakjian (1985) menyatakan bahwa aditif tekanan ekstrim merupakan aditif yang diaktifkan secara predominan melalui efek suhu selama pengerjaan logam. Suatu film efektif ditempatkan antara peralatan dan permukaan benda kerja untuk mencegah penyolderan atau pengelasan di permukaan. Pada kasus aditif tekanan ekstrim, pembentukan film secara primer dihasilkan dari reaksi kimiawi antara aditif dan permukaan. Aditif tersebut umumnya adalah sulfur (sulfurisasi ester) atau klorin (klorinasi hidrokarbon), dan hasil reaksi organik ester lemak atau minyak. Logam sulfit, Morin atau sabun merupakan konstituen utama dari film yang dihasilkan dari reaksi aditif dengan permukaan logam. Aditif fosfat seperti ester asam fosfor juga sering digunakan. Molekul yang mengikat keduanya (klorin dan sulfur) pada beberapa kasus dimaksudkan untuk memperkuat formasi film selama pengerjaan logam.

3. Biosida

Menurut Natchman dan Kalpakjian (1985) zat anti mikroorganisme khususnya dibutuhkan pada pelumas yang menggunakan campuran air dan pelumas. Konsentrasi mikroorganisme pada pelumas industri dapat mencapai 10^9 mikroorganisme per milliliter. Mikroorganisme yang berhubungan dengan pelumas umumnya adalah mikroorganisme yang mereduksi sulfat secara anaerobic seperti *Desulfo vibriodesulfuricans*, bakteri aerobik seperti *pseudomonas sp.*, serta *fusarium* dan *Candida*. Biosida merupakan salah satu aditif yang diperlukan untuk

menghambat adanya mikroorganisme di dalam suatu pelumas. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dalam waktu 60 hari penyimpanan pada kondisi laboratorium terdapat 100.000 mikroorganisme per milliliter pelumas.

Biosida yang umum digunakan antara lain Kathon 886MW, Grotan HD2, Bioban P1487 (Natchman dan Kalpakjian, 1985). Biosida yang diproduksi RT Vanderbilt antara lain Vancide 51 dan Vancide TH. Dovicide 1 merupakan biosida produk dari perusahaan bahan kimia Dow Chemical Co. Biosida tersebut menggunakan zat aktif senyawa o-fenilfenol, dengan struktur molekul seperti pada Gambar 2.9 berikut.



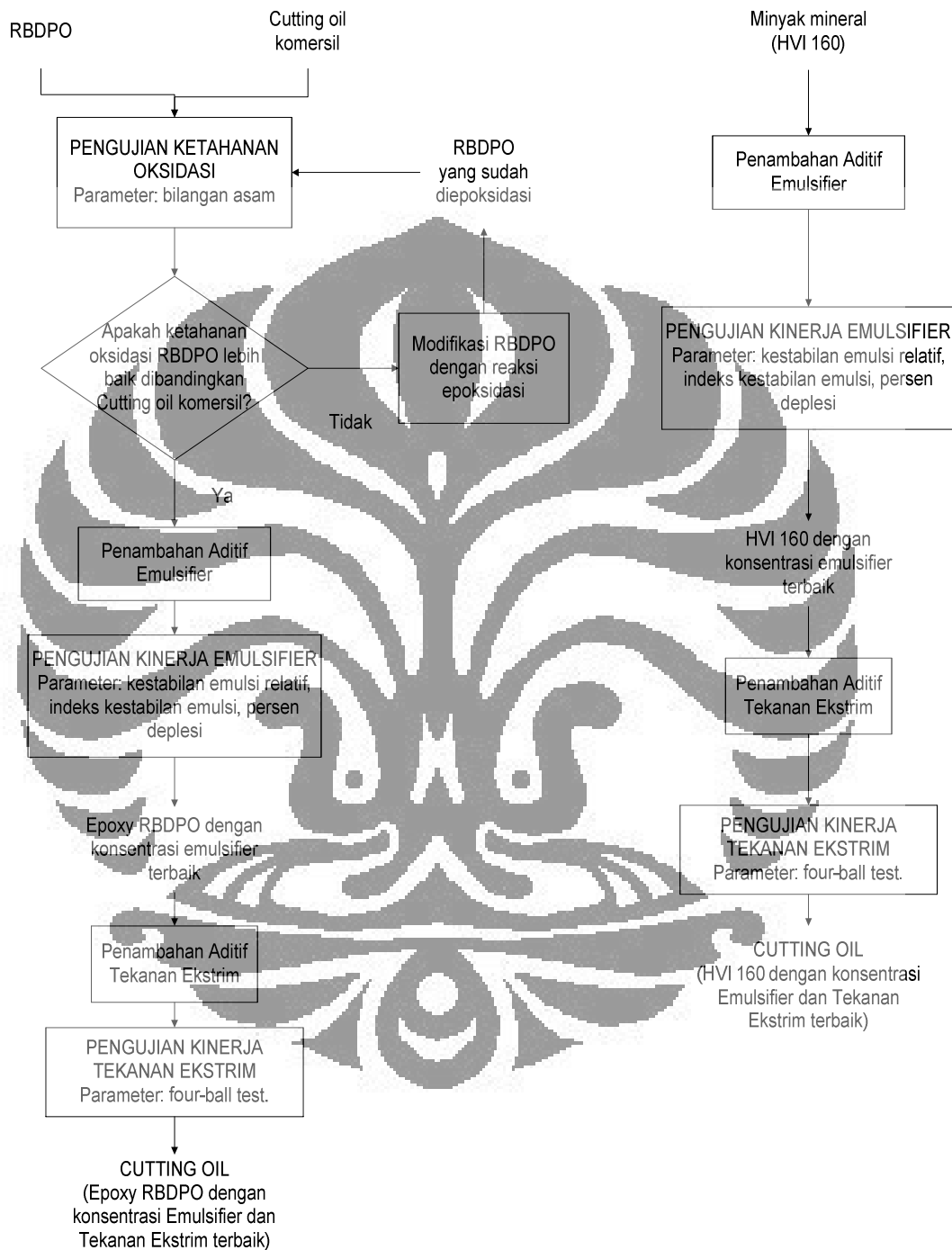
Gambar 2.9 Struktur Molekul Ortho-fenilfenol Sebagai Biosida (Natchman dan Kalpakjian, 1985)

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada dasarnya penelitian ini dilakukan dalam 2 tahapan yang meliputi: (1) Formulasi *cutting oil* berbahan dasar minyak sawit yang dimodifikasi dengan epoksidasi, dan (2) Formulasi *cutting oil* berbahan dasar minyak mineral. Diagram alir tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1. Penelitian akan ini dilakukan di laboratorium RPKA departemen Teknik Kimia UI, Laboratorium Proses dan Laboratorium teknologi aplikasi LEMIGAS Jakarta.



Gambar 3.1 Alur penelitian formulasi *Cutting Oil*

3.2. Bahan dan Alat

3.2.1. Bahan

- a. Bahan utama penelitian adalah minyak kelapa sawit (RBDPO), emulsifier, biosida, aditif tekanan ekstrim.
- b. Bahan kimia untuk keperluan Epoksidasi dan analisis sifat fisiko-kimia atau karakterisasi bahan uji. Bahan kimia yang digunakan untuk karakterisasi bahan uji diantaranya; Hidrogen peroksida, asam formiat, KOH, alkohol 95%, H₂SO₄, indikator PP.

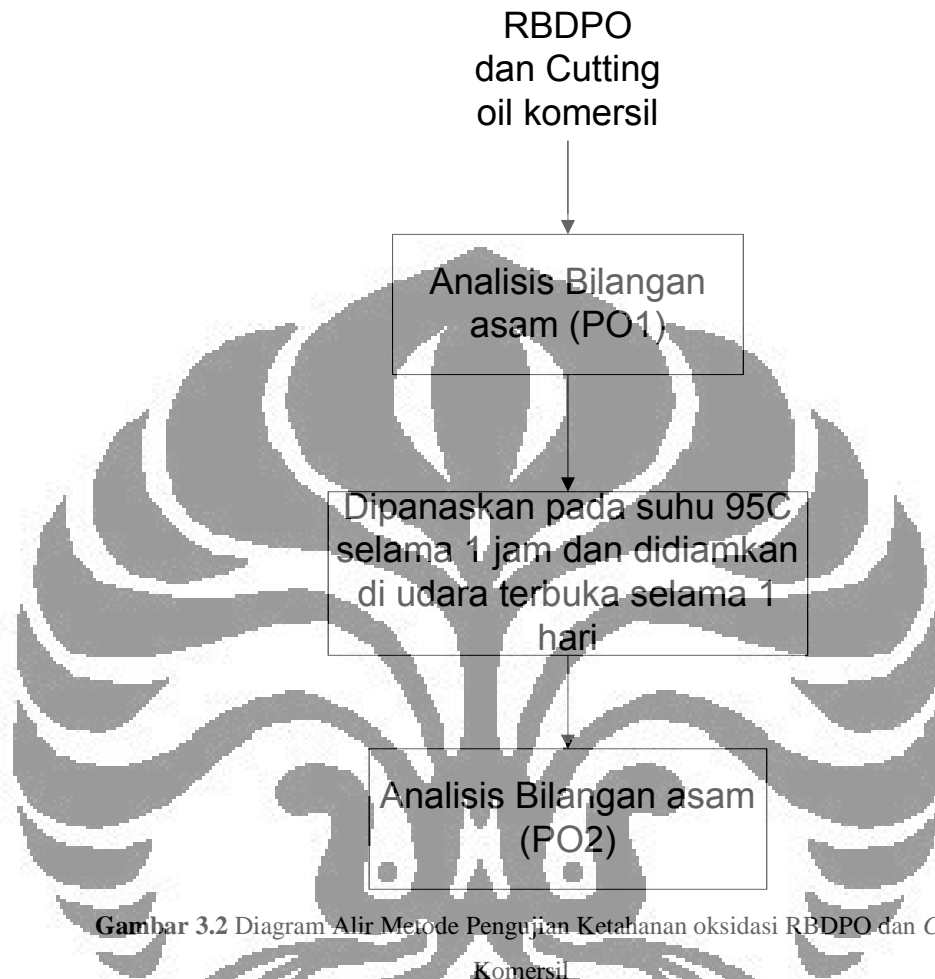
3.2.2. Alat

- a. Alat proses, buret, labu Erlenmeyer, gelas ukur, reaktor epoksidasi, furnace vakum, beaker glass.
- b. Alat ukur Four-ball.

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Pengujian Ketahanan Oksidasi

Tujuan pengujian ketahanan oksidasi terhadap RBDPO dan *cutting oil* komersil ialah untuk mengetahui perbandingan ketahanan oksidasi diantara kedua bahan tersebut. Hal ini dilakukan untuk mengkaji perlunya modifikasi terhadap RBDPO, sehingga RBDPO memiliki ketahanan oksidasi yang baik dan memenuhi syarat sebagai pelumas dasar *cutting oil*. Parameter untuk mengukur ketahanan oksidasi adalah bilangan asam, dan Secara ringkas tahap pengujian ini digambarkan pada Gambar 3.2 di bawah ini.



Gambar 3.2 Diagram Alir Metode Pengujian Ketahanan oksidasi RBDPO dan *Cutting Oil* Komersil

Dari data yang dihasilkan pada Gambar 3.2, akan didapatkan kesimpulan apakah RBDPO memiliki ketahanan oksidasi lebih baik dibandingkan *cutting oil* komersil?. Dan hal ini tentunya akan menentukan perlakuan lebih lanjut terhadap RBDPO itu sendiri agar memenuhi fungsinya sebagai pelumas dasar.

3.3.2 Epoksidasi

Epoksidasi berfungsi untuk mencegah terjadinya oksidasi pada minyak sawit (RBDPO). Proses epoksidasi ini memerlukan katalis asam dalam memutus ikatan rangkap pada RBDPO. Prosedur untuk pembuatan epoksidasi RBDPO adalah:

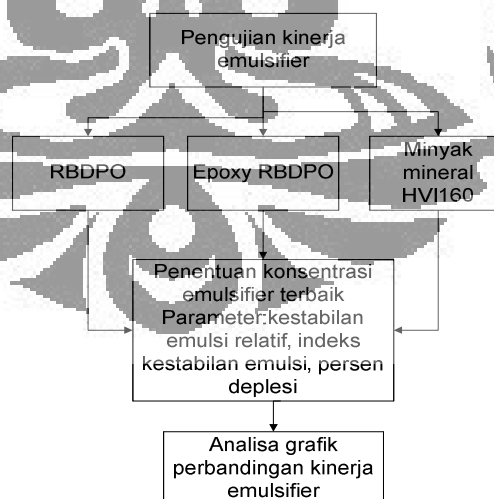
1. Panaskan RBDPO hingga mencapai suhu 65°C dan dilakukan pengadukan
2. Matikan pemanas setelah suhu RBDPO mencapai 65°C
3. Masukkan katalis asam formiat ke dalam RBDPO yang telah dipanaskan dengan perbandingan mol RBDPO dan mol asam formiat dengan perbandingan 1:0,3
4. Tambahkan kira-kira 5 ml H_2O_2 dengan tetap dilakukan pengadukan. Suhu akan naik secara perlahan karena reaksi epoksidasi termasuk reaksi eksotermis. Jaga suhu pada 65°C
5. Jika suhu tidak naik lagi, baru tambahkan 5 ml H_2O_2 berikutnya. Setelah penambahan ini, suhu akan naik kembali. Seperti tadi, pertahankan suhu pada 65°C .
6. Demikian seterusnya hingga H_2O_2 berlebih yang disediakan habis.
7. Setelah reaksi dilakukan, diamkan produk sesaat. Produk akan terpisah menjadi dua fasa, RBDPO dan air beserta H_2O_2 dan asam formiat. Pisahkan dengan menggunakan corong pisah.
8. RBDPO dicuci dengan menggunakan aquadest dengan perbandingan 1:1 dan diaduk merata. Setelah oengadukan dilakukan, diamkan dan RBDPO akan terpisah kembali. Aquadest tersebut kemudian dipisahkan kembali dari RBDPO dengan corong pisah. Pencucian dilakukan sebanyak tiga kali.

Pencucian dilakukan untuk menghilangkan sisa H_2O_2 dan asam formiat yang mungkin masih tercampur dalam RBDPO.

9. Panaskan RBDPO dalam kondisi vakum selama 1 jam untuk menghilangkan kandungan air yang masih tersisa.

3.3.3 Pengujian Kinerja Emulsifier

Pengujian kinerja *emulsifier* dilakukan untuk mengetahui efek penambahan emulsifier pada kestabilan emulsi minyak sawit dalam air (O/W). Eksperimen pengujian ini juga bertujuan untuk menentukan konsentrasi *emulsifier cutting oil* yang efektif. Emulsifier yang di uji akan dimasukkan ke dalam minyak pelumas dan air dengan rasio perbandingan 15% : 85%. komposisi minyak pelumas dan air ini ditentukan berdasarkan literatur yang menyebutkan bahwa konsentrasi *emulsifier* digunakan untuk mengemulsi minyak pelumas dan air dengan ratio 1:5 hingga 1:10 (Ralph Kelly dan Gregory foltz, 1973). Diagram alir pengujian dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Pengujian kinerja *emulsifier*

Eksperimen yang terdapat pada Gambar 3.3, dilakukan dengan dua faktor yang dicoba. Faktor pertama yang dicoba adalah perbandingan karakteristik emulsifier terhadap :

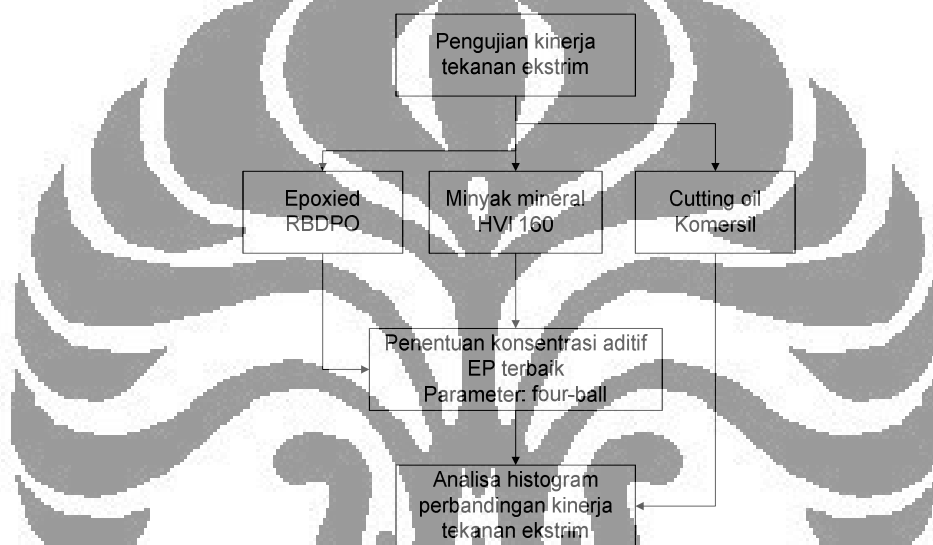
- (1) RBDPO yang telah di epoksidasi
- (2) RBDPO murni
- (3) Minyak mineral HVI 160

Faktor kedua yang dicoba adalah konsentrasi emulsifier yang terdiri atas empat konsentrasi:

- (1) Konsentrasi emulsifier 0,25%
- (2) Konsentrasi emulsifier 1,75%
- (3) Konsentrasi emulsifier 3,25%
- (4) Konsentrasi emulsifier 4,75%

3.4.4. Pengujian Kinerja Tekanan Ekstrim (*Extreme Pressure*)

Untuk melakukan pengujian pada aditif tekanan ekstrim yang dilakukan dengan menggunakan uji *four-ball*. Adapun prosedur penentuan konsentrasi aditif EP yang akan diujikan ke *four-ball machine* yaitu:



Gambar 3.4 Pengujian Kinerja Tekanan ekstrim

Uji *four ball* (ASTM D 2783) dilakukan untuk mengetahui kinerja tekanan ekstrim *cutting oil*. Pengujian tekanan ekstrim dilakukan untuk emulsi 15% minyak pelumas dan 85% air, komposisi minyak pelumas dan air ini ditentukan berdasarkan literatur yang menyebutkan bahwa konsentrasi *emulsifier* digunakan untuk mengemulsi minyak pelumas dan air dengan ratio 1:5 hingga 1:10 (Ralph Kelly dan Gregory foltz, 1973). Sementara konsentrasi *emulsifier* yang digunakan sudah didapatkan pada percobaan sebelumnya yang didapat dari hasil pengujian kinerja *emulsifier*. Adapun parameter pengujian *four-ball* yaitu keausan yang terjadi pada bola, dimana keausan ditentukan dengan berkurangnya berat keempat bola setelah dilakukan uji *four-ball*. Komposisi *emulsifier* didapatkan dari percobaan sebelumnya,

dimana konsentrasi *emulsifier* yang terbaiklah yang dipilih berdasarkan parameter yang telah ditentukan sebelumnya.

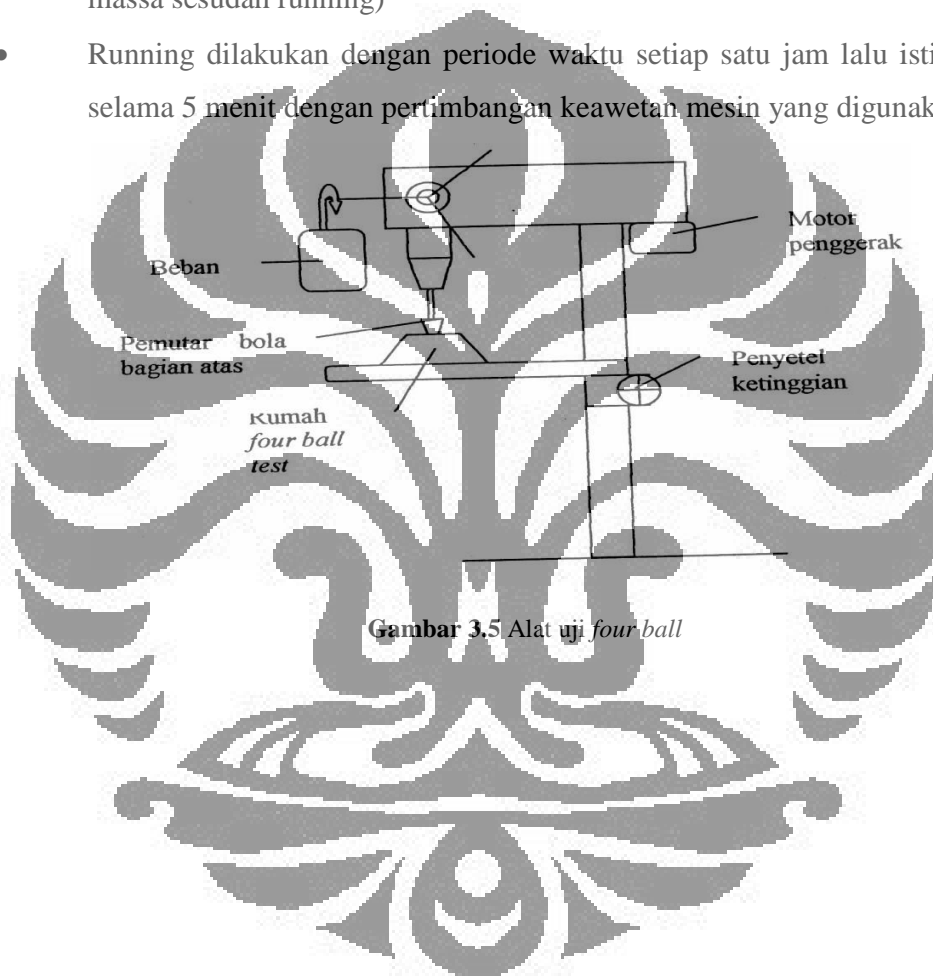
Untuk konsentrasi Aditif EP yang akan diuji terdiri atas empat konsentrasi:

- (1) Konsentrasi Aditif EP 0 %
- (2) Konsentrasi Aditif EP 2,5%
- (3) Konsentrasi Aditif EP 5%
- (4) Konsentrasi Aditif EP 7,5%
- (5) Konsentrasi Aditif EP 10%

Uji *four-ball* dapat dilakukan dengan prosedur sebagai berikut:

- Membersihkan *four ball wear machine* dengan alkohol.
- Cuci bola yang dijadikan bahan pengujian dengan alkohol sampai bersih kemudian dikeringkan dengan drier atau dibiarkan di udara bebas beberapa saat.
- Menimbang keempat bola.
- Memasang keempat bola pada *four ball wear machine* yang telah bersih dan kering. Tiga buah dipasang dibawah (statis) dan yang satu dipasang diatas, pada bagian yang diputar.
- Memasukkan *cutting oil* yang akan diuji ke dalam *four ball wear machine* sampai area kontak keempat bola terendam (kurang lebih 2,5 mL)
- Mengencangkan *four ball wear machine* dengan tang dan kunci inggris kemudian diletakkan pada tempatnya.
- Memasang beban 12 kg
- Nyalakan *four ball wear machine*.

- Setelah selesai, ambil bola pada four ball. Bersihkan dengan alkohol dan tissue, kemudian dikeringkan dan ditimbang.
- Penimbangan massa bola sebelum dan sesudah running dilakukan untuk mengetahui massa keausan bola. Jumlah keausan (mg) = (massa sebelum-massa sesudah running)
- Running dilakukan dengan periode waktu setiap satu jam lalu istirahat alat selama 5 menit dengan pertimbangan keawetan mesin yang digunakan.



Gambar 3.5 Alat uji four ball

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 UJI KETAHANAN OKSIDASI

Oksidasi merupakan faktor utama yang membatasi umur pemakaian pelumas. Semua pelumas akan teroksidasi bila dikelilingi oksigen dalam jumlah yang cukup banyak. Menurut Kataren (1986) faktor-faktor yang dapat mempercepat terjadinya proses oksidasi pada minyak adalah kalor, cahaya, adanya asam, enzim, serta adanya katalis. Setiap kenaikan suhu 10°C , kecepatan oksidasinya dapat meningkat dua kali lipat.

Terjadinya proses oksidasi pada pelumas akan menghasilkan tiga produk yaitu asam, lumpur dan *laquer*. Adanya asam akan dapat menyebabkan korosi dan keausan. Lumpur merupakan hasil polimerisasi pelumas yang teroksidasi. *Laquer* adalah produk yang dihasilkan oleh teroksidasinya lapisan tipis pelumas pada permukaan metal yang panas *laquer* berwarna coklat muda sampai coklat tua kehitam-hitaman (dinas PPM Pertamina, 1999).

4.1.1 Karakteristik Hasil Uji Oksidasi

Hasil uji oksidasi yang dilakukan dengan pemanasan minyak sawit RBDPO dan juga Cutting oil pada suhu 95°C selama 1 jam kemudian didinginkan selama 1 hari di udara terbuka, bilangan asam diukur pada saat sebelum (PO1) dan sesudah pemanasan (PO2) dilakukan.

Setelah uji ketahanan oksidasi dilakukan, bilangan asam RBDPO ternyata berubah dari 2,67 menjadi 10,1 dengan delta sebesar 7,42. Dan bilangan asam *cutting oil* komersil berubah dari 8,14 menjadi 14,02 dengan delta sebesar 5,9 (Gambar 4.1). Hasil uji ketahanan oksidasi ini menunjukkan bahwa *cutting oil* komersil memiliki

ketahanan oksidasi yang lebih baik dibandingkan dengan RBDPO, karena delta penambahan bilangan asam pada *cutting oil* lebih kecil dibandingkan dengan RBDPO. Fenomena tersebut menunjukkan proses oksidasi berlangsung cukup cepat pada RBDPO. Proses oksidasi yang berlangsung pada minyak sawit (RBDPO) yang memiliki ikatan rangkap dapat menghasilkan senyawa-senyawa dengan rantai karbon lebih pendek yang diantaranya merupakan asam-asam organik. Adanya asam-asam organik rantai karbon pendek hasil proses oksidasi tersebut, mengakibatkan tingginya bilangan asam. Agar pelumas dapat bekerja dengan baik, tingginya bilangan asam merupakan hal yang harus dihindari. Oleh karena itu, dalam formulasi *cutting oil* dari minyak sawit dibutuhkan suatu modifikasi yang dapat meningkatkan ketahanan oksidasi pada RBDPO sehingga dapat memenuhi kriteria sebagai pelumas dasar untuk memformulasi *cutting oil*.



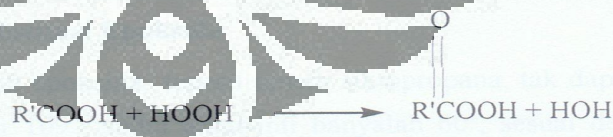
Gambar 4.1 Pengujian Ketahanan Oksidasi pada RBDPO dan *Cutting Oil* Komersil

4.1.2 Memodifikasi RBDPO dengan Epoksidasi

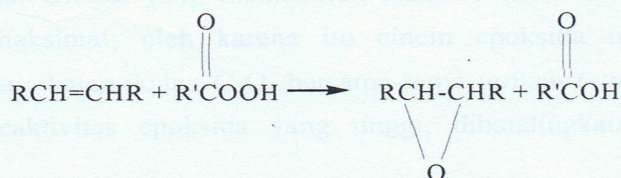
Untuk meningkatkan ketahanan oksidasi dari minyak kelapa sawit (CPO) dilakukan modifikasi untuk mengurangi jumlah ikatan rangkap yang terdapat pada rantai molekulnya, sehingga reaksi oksidasi yang menyerang ikatan rangkap trigliserida dapat dikurangi. Modifikasi dilakukan dengan reaksi epoksidasi, RBDPO yang menjadi pelumas dasar direaksikan dengan hidrogen peroksida (H_2O_2) dengan perbandingan mol RBDPO dan H_2O_2 sebesar 1:3. Katalis yang digunakan adalah asam formiat dengan perbandingan mol RBDPO dan asam formiat sebesar 1:0,3. Penambahan katalis asam diperlukan karena tanpa katalis, reaksi antara RBDPO dan hidrogen peroksida sulit dilakukan pada suhu rendah. Katalis asam akan mengoksidasi hidrogen peroksida menjadi asam peroksida kemudian asam peroksida akan mengoksidasi RBDPO menjadi *epoxied* RBDPO. Reaksi ini menyerang ikatan rangkap yang terdapat pada RBDPO untuk membentuk epoksida atau oksirana yang berbentuk cincin.

Reaksi epoksidasi yang terjadi melalui 2 tahap, yaitu reaksi oksidasi asam menjadi asam peroksida oleh hidrogen peroksida dan kemudian reaksi epoksidasi alkena pada RBDPO oleh asam peroksida. Mekanisme reaksi epoksidasi dapat dilihat pada Gambar 4.2.

Tahap 1 :



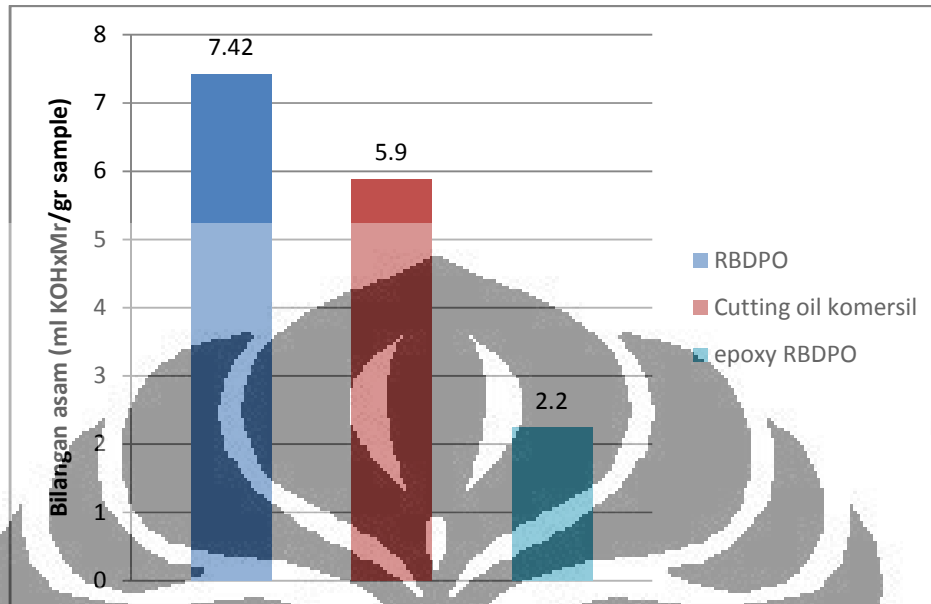
Tahap 2 :



Gambar 4.2 Mekanisme Reaksi Epoksidasi

Epoksidasi merupakan salah satu jenis reaksi oksidasi yang terjadi pada alkena. Reaksi tersebut menyerang ikatan ganda karbon pada alkena dan mengubahnya menjadi oksirana/epoksida. Reaksi epoksidasi membutuhkan energi yang sangat tinggi, untuk itu dibutuhkan katalis asam formiat dan oksidator yang dipakai adalah hidrogen peroksida (H_2O_2) karena H_2O_2 merupakan oksidator yang kuat. Dengan diserangnya ikatan rangkap karbon pada gugus alkena RBDPO, akibatnya reaksi oksidasi akan sulit terjadi, dan hal ini berpengaruh terhadap meningkatnya ketahanan oksidasi RBDPO setelah dilakukan reaksi epoksidasi.

Hasil pengujian ketahanan oksidasi RBDPO yang telah diepoksidasi menunjukkan ketahanan oksidasi yang lebih baik dibandingkan dengan *cutting oil* komersil dan juga RBDPO. Pada Gambar 4.3, terlihat bahwa setelah dilakukan pengukuran bilangan asam pada saat perlakuan oksidasi pertama (PO1) dan perlakuan oksidasi kedua (PO2), bilangan asam tidak meningkat secara drastis seperti *cutting oil* ataupun RBDPO. Terhadap perlakuan oksidasi pertama dan kedua, RBDPO mengalami peningkatan bilangan asam dari 2,67 ke 10,1 dengan selisih sebesar 7,42. Sedangkan *cutting oil* komersil meningkat dari 8,14 ke 14,25 dengan selisih 5,9. Hal ini menunjukkan ketahanan oksidasi *cutting oil* komersil lebih baik dari pada RBDPO, dimana perubahan bilangan asam yang terjadi pada RBDPO memiliki range yang lebih jauh dibandingkan dengan *cutting oil* komersil. Namun setelah dilakukan reaksi epoksidasi pada RBDPO, bilangan asam meningkat dari 3,92 ke 6,17 dengan selisih 2,2. Delta perubahan bilangan asam yang dimiliki epoksi RBDPO merupakan yang paling kecil dibandingkan dengan RBDPO biasa dan *cutting oil* komersil. Hal ini menunjukkan bahwa dengan reaksi epoksidasi, ketahanan oksidasi RBDPO meningkat melebihi ketahanan oksidasi *cutting oil* komersil.



Gambar 4.3 Pengujian Ketahanan Oksidasi

4.2 UJI KINERJA EMULSIFIER

Pada proses pemotongan plat baja, *cutting oil* digunakan dalam bentuk emulsi dengan tipe *oil and water* (O/W). emulsi dengan tipe O/W terdiri dari minyak yang terdispersi sebagai suatu droplet yang sangat kecil di dalam air. Air dalam sistem emulsi *cutting oil* utamanya digunakan sebagai pendingin. Oleh karena penggunaan *cutting oil* harus dicampur dengan air, maka *cutting oil* dan air harus dibentuk dalam satu sistem emulsi yang stabil. Pencampuran dalam sistem emulsi yang stabil dilakukan agar setiap permukaan dari logam yang akan dipotong dapat terlapisi oleh pelumas. Jika ada bagian yang tidak terlumasi, maka pada bagian tersebut dapat terjadi goresan yang dapat menyebabkan cacatnya logam yang dihasilkan dari proses pemotongan (Caltex, 1960; cook, 1982; Natchman dan Kalpakjian, 1985).

Kemampuan minyak atau pelumas dasar dalam membentuk sistem emulsi ditentukan oleh jumlah dan jenisnya. Jumlah minyak akan menentukan apakah sistem

emulsi yang terbentuk adalah minyak dalam air atau air dalam minyak. Adapun kriteria minyak yang mudah diemulsikan dipengaruhi oleh tingkat kepolarannya, hal ini terkait dengan komposisi kandungan asam lemak jenuh dan tidak jenuh, serta panjang-pendeknya rantai atom karbon penyusunnya. Minyak yang mengandung asam lemak jenuh lebih sukar diemulsikan dibanding minyak yang mengandung asam lemak tidak jenuh dengan satu atau dua ikatan rangkap pada jumlah atom karbon yang sama. Selain itu, secara umum titik cair dari asam lemak jenuh lebih tinggi dari asam lemak tidak jenuh, sifat ini juga dapat mempengaruhi fenomena emulsi asam lemak jenuh menjadi relatif lebih sulit. Sedangkan untuk panjang rantai asam lemak jenuh, semakin pendek rantai asam lemak jenuhnya semakin mudah teremulsi dibanding rantai asam lemak jenuh panjang.

Tujuan pengujian kinerja *emulsifier* ini, dilakukan untuk mengetahui efek penambahan *emulsifier* pada kestabilan emulsi minyak sawit dalam air (O/W). Eksperimen juga bertujuan untuk menentukan konsentrasi *emulsifier* yang efektif digunakan sebagai *emulsifier cutting oil*. Parameter yang diamati dalam eksperimen ini ialah: (1) indeks kestabilan emulsi (ESI), (2) persentase deplesi (d%), (3) kestabilan emulsi relatif.

Parameter **indeks kestabilan emulsi (ESI)** menunjukkan perbandingan konsentrasi minyak dan krim dibagian bawah dengan konsentrasi minyak dan krim di bagian atas suatu sistem emulsi. Pengukuran ESI dilakukan dengan waktu penyimpanan selama 24 jam. Nilai ESI berkisar dari 0,0 – 1,0. Semakin besar nilai ESI menunjukkan semakin stabilnya emulsi tersebut.

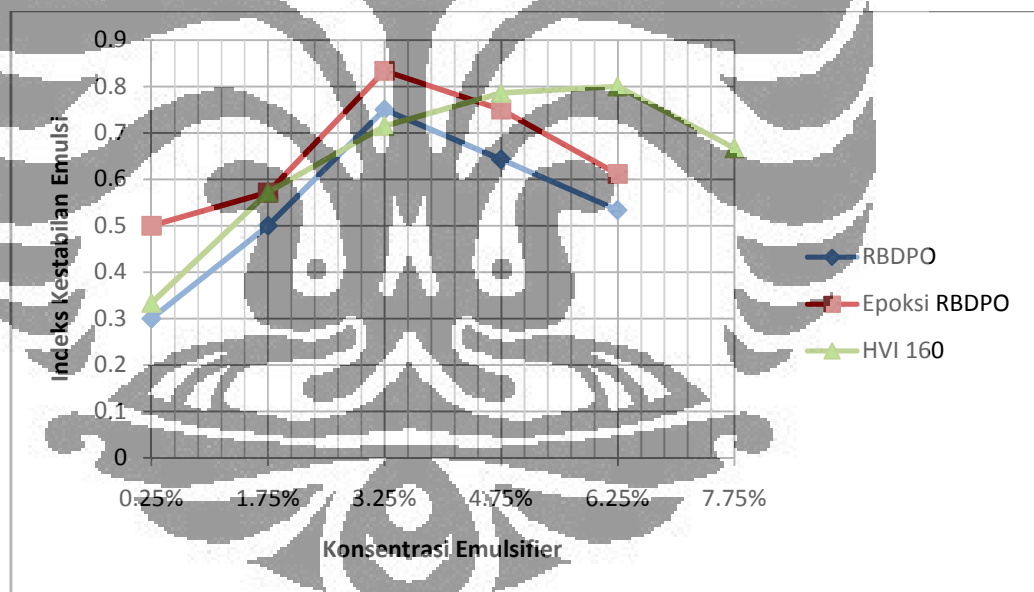
Hasil pengamatan menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi *emulsifier* ternyata tidak berbanding lurus dengan kenaikan stabilitas emulsi yang dihasilkan (Gambar 4.4).. Penambahan konsentrasi emulsifier pada RBDPO dan epoksi RBDPO sampai 3,25% dapat meningkatkan stabilitas emulsi, namun penambahan emulsifier yang lebih besar justru dapat menurunkan indeks kestabilan emulsi. Penambahan

emulsifier sebesar 4,75% ternyata menyebabkan ESI cenderung turun dari 0,75 menjadi 0,64. Pemberian *emulsifier* sebesar 4,75% terlihat menimbulkan warna kecoklatan pada lapisan antara minyak dan krim (Gambar 4.5). Warna kecoklatan tersebut diduga merupakan senyawa *emulsifier* itu sendiri yang mengalami pemisahan dengan air ataupun minyak. Adanya pemisahan *emulsifier* dari emulsi minyak sawit menyebabkan jumlah konsentrasi minyak pada bagian atas menjadi lebih besar. Akibatnya nilai ESI menjadi lebih kecil. Oleh karena itu dapat diambil kesimpulan bahwa pemberian emulsifier dengan konsentrasi 3,25% memberikan hasil ketabilan emulsi terbaik yaitu sebesar 92 %.

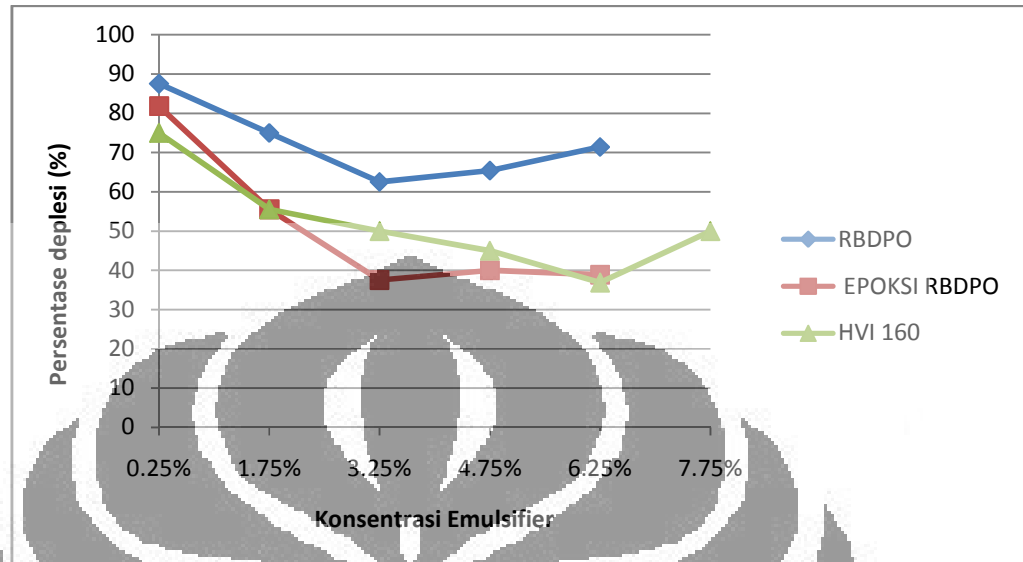
Berdasarkan hasil pengujian kinerja emulsifier yang dilakukan diketahui adanya perbedaan yang signifikan antara RBDPO dengan epoksidasi RBDPO. Pada Gambar 4.4 terlihat bahwa RBDPO yang telah diepoksidasi ternyata memiliki nilai ESI lebih besar dibandingkan dengan RBDPO biasa. Hal ini menunjukkan reaksi epoksidasi pada RBDPO ternyata dapat menurunkan tegangan antar muka dari RBDPO sehingga dapat lebih mudah menyatu dengan bagian lipofilik dari *emulsifier*.

Pengujian kinerja dari emulsifier berbahan dasar minyak mineral HVI 160 Untuk parameter indeks kestabilan emulsi dapat dilihat pada Gambar 4.4. Hasil pengujian menunjukkan bahwa indeks kestabilan emulsi yang terbaik untuk minyak mineral, terjadi pada konsentrasi 6,25%. Hal ini menunjukkan bahwa Epoksidasi RBDPO membutuhkan konsentrasi emulsifier yang lebih sedikit dibandingkan dengan minyak mineral. Fenomena ini diduga akibat komposisi asam lemak yang terkandung di dalam masing-masing bahan dasar pelumas, minyak mineral memiliki asam lemak jenuh yang lebih banyak dibandingkan dengan Epoksidasi RBDPO, sehingga asam lemak jenuh tersebut membuat minyak mineral lebih sulit untuk diemulsikan dibandingkan dengan Epoksidasi RBDPO. Analisa selanjutnya ialah molekul asam lemak pada minyak nabati merupakan bentuk rantai panjang yang mempunyai ikatan gugus karboksilat pada ujungnya. Gugus karboksilat pada ujung ikatan molekul ini memiliki bagian polar (Gambar 4.6), sehingga *emulsifier* yang

bersifat non polar akan lebih mudah mengikat bagian polar yang terdapat pada asam lemak yang dimiliki oleh RBDPO. Selain itu rangkaian proses pemurnian juga berpengaruh terhadap komponen penyusun bahan dasar pelumas, Epoksidasi RBDPO mengalami proses deodorasi yang merupakan proses pemurnian pada minyak sawit dengan menggunakan uap bersuhu tinggi, sehingga komponen-komponen volatil dan asam lemak jenuh rantai pendek teruapkan, hal ini mengakibatkan RBDPO yang terbentuk memiliki asam lemak rantai panjang yang didalamnya terdapat gugus karboksilat yang bersifat polar dan mudah berikatan dengan bagian *emulsifier*. Di sisi lain minyak mineral tidak melalui proses pemurnian seperti minyak sawit, akibatnya asam lemak berantai pendek baik itu jenuh ataupun tidak jenuh masih tertinggal di dalam minyak mineral tersebut (Ho, dan Cho. 2000).



Gambar 4.4 Grafik Pengujian Indeks kestabilan Emulsi



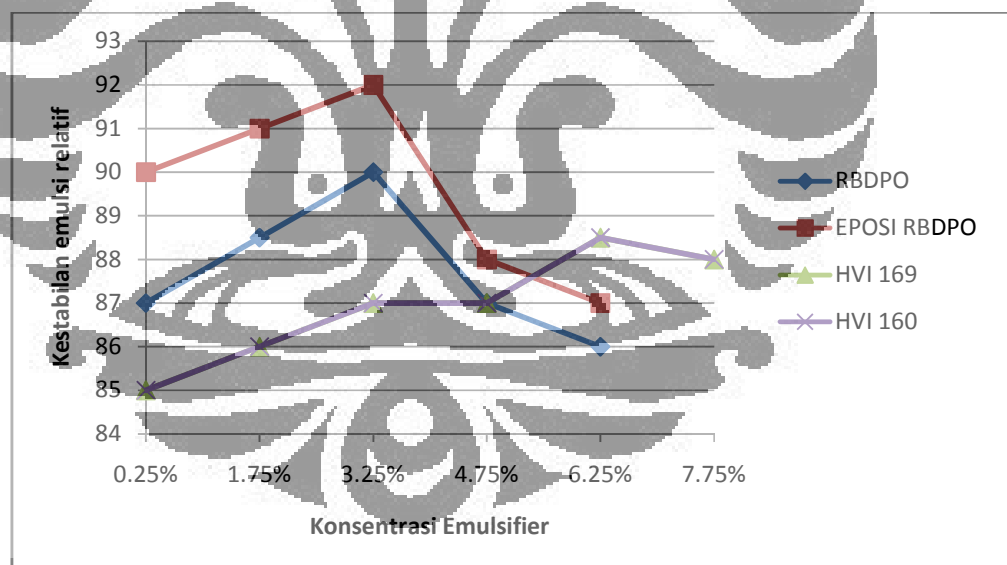
Gambar 4.7 Grafik Pengujian Persentase Depleksi

Hasil pengujian persentase depleksi pada RBDPO dan epoksi RBDPO menunjukkan bahwa konsentrasi *emulsifier* 3,25% merupakan konsentrasi emulsi yang memiliki kerusakan paling sedikit dibandingkan dengan konsentrasi lainnya, namun indeks kestabilan emulsi epoksi RBDPO (37,5% memiliki nilai indeks lebih rendah dibandingkan dengan RBDPO. Hasil pengujian persentase depleksi ini mendukung parameter indeks kestabilan emulsi yang juga menunjukkan konsentrasi *emulsifier* 3,25% sebagai konsentrasi terbaik.

Hasil pengujian persentase depleksi pada HVI 160 menunjukkan bahwa tingkat kerusakan emulsi yang paling kecil terletak pada konsentrasi 6,25% sebesar 37% depleksi, untuk penambahan konsentrasi 7,75% persentase depleksi naik menjadi 50%.

Parameter kestabilan emulsi relatif diperoleh dengan metoda *separation test* (Natchman dan Kalpakjian, 1985). Ukuran kestabilan emulsi didasarkan pada jumlah minyak dan *cuff* (lapisan krim yang terbentuk di bagian bawah minyak yang terpisah). Semakin besar minyak dan *cuff* yang terpisah dari emulsi mengindikasikan bahwa emulsi tersebut kurang stabil, yaitu ditandai dengan persentase kestabilan emulsi relatif.

Hasil pengamatan menunjukkan penambahan konsentrasi *emulsifier* ternyata tidak berbanding lurus dengan kenaikan stabilitas emulsi yang dihasilkan (Gambar 4.8). Penambahan konsentrasi *emulsifier* pada RBDPO dan epoksi RBDPO sampai 3,25% dapat meningkatkan stabilitas emulsi, namun penambahan *emulsifier* yang lebih besar justru dapat menurunkan kestabilan emulsi.

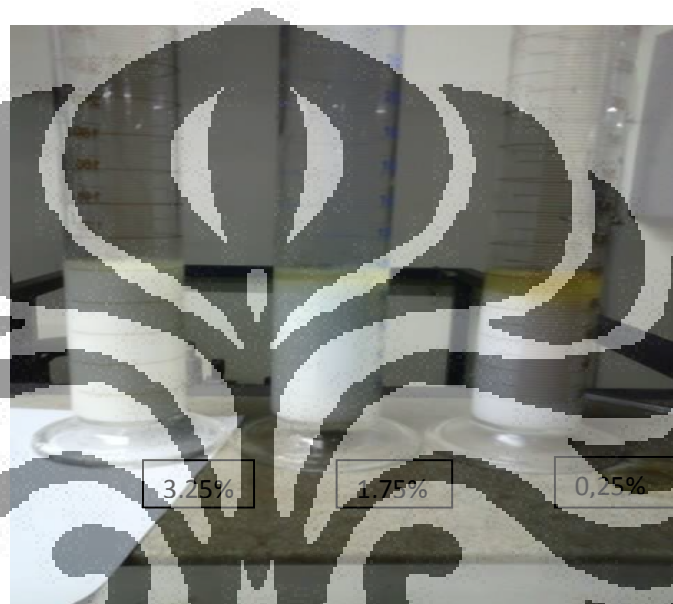


Gambar 4.8 Grafik Pengujian Kestabilan Emulsi Relatif

Hasil pengujian kestabilan emulsi relatif pada HVI 160 menunjukkan kenaikan hingga konsentrasi *emulsifier* 6,25% merupakan konsentrasi emulsi yang

memiliki kestabilan emulsi relatif yang tinggi dibandingkan dengan konsentrasi lainnya.

Pada saat diformulasikan telah terlihat secara jelas bahwa konsentrasi *emulsifier* 3,25%, memiliki kinerja yang paling baik (Gambar 4.9 dan gambar 4.10).



Gambar 4.9. Hasil Pengujian Kinerja *Emulsifier* Konsentrasi 0,25%–3,25%



Gambar 4.10. Hasil Pengujian Kinerja *Emulsifier* Konsentrasi 4,25% dan 6,25%

Pada kedua Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 diatas terlihat perbedaan sistem emulsi yang terbentuk, dimana dapat dilihat bahwa setelah penambahan konsentrasi emulsifier diatas 3,25% kinerja emulsi justru menurun. Pada konsentrasi 3,25% hanya sedikit minyak yang terlihat pada bagian atas emulsi, sedangkan untuk 4,25% dan 6,25% minyak pada bagian atas justru tidak teremulsi dengan baik sehingga setelah pengadukan dilakukan terlihat volume minyak yang terpisah pada bagian atas emulsi yang lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi 3,25%.

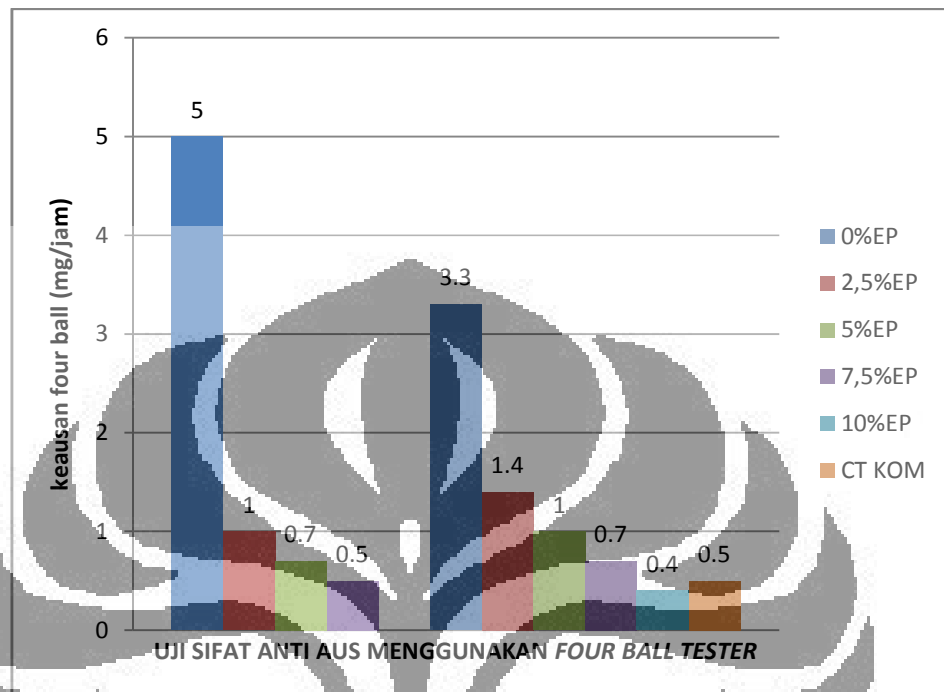
4.3 UJI KINERJA TEKANAN EKSTRIM

Asam lemak dapat digunakan sebagai pelumas batas karena dapat bereaksi dengan logam yang dilumasi, membentuk selaput sabun. Pelumasan tidak terjadi secara fisik yaitu dengan teradsorbsinya selaput tipis asam lemak dengan permukaan logam, tetapi pelumasan terjadi melalui reaksi kimia yang membentuk selaput sabun pada permukaan logam yang dilumasi. Pada kondisi pelumasan batas. Peranan asam lemak yang dapat membentuk selaput sabun, keaktifannya sangat dipengaruhi oleh perubahan suhu. Selaput sabun yang terbentuk dari reaksi asam lemak dengan permukaan logam, akan kehilangan kemampuannya setelah terjadi kenaikan suhu mencapai titik leburnya. Padahal suhu titik lebur tergantung dari jenis dan karakter alamiah dari asam lemak. Secara umum titik lebur asam lemak yang bereaksi dengan berbagai logam berada diantara 150 sampai dengan 250°C. Pelumasan pada kondisi tekanan dan suhu tinggi, memerlukan pelumas khusus yang mampu bekerja pada tekanan dan suhu yang tinggi, untuk menghindari terjadinya kontak logam dengan logam. Untuk itu pada pelumas perlu ditambahkan aditif EP (*extreme pressure agent*). Bahan-bahan kimia yang digunakan sebagai aditif EP ialah bahan yang mudah larut di dalam minyak. Umumnya bahan tersebut mengandung klorida, sulfur dan fosfor. Aditif tersebut dapat melakukan reaksi kimia dengan permukaan logam membentuk ikatan logam klorida, logam sulfide ataupun logam fosfor yang merupakan lapisan film lapisan film yang merekat pada permukaan logam. Lapisan

film tersebut dapat mencegah kontak langsung antara logam dengan logam. Lapisan film dari aditif tekanan ekstrim umumnya mempunyai titik lebur cukup tinggi. Hal tersebut sesuai dengan tujuan penggunaannya yaitu untuk pelumasan pada tekanan dan suhu tinggi (Subardjo, 1985; Rizvi, 1998; Kajdas, 1997).

Uji *four ball* (ASTM D 2783) dilakukan untuk mengetahui kinerja tekanan ekstrim *cutting oil*. Pengujian tekanan ekstrim dilakukan dalam bentuk emulsi 15 % pelumas *cutting oil* dan 85% air non-ionik. Untuk melakukan pengujian pada aditif tekanan ekstrim yang dilakukan dengan menggunakan uji *four-ball*. Adapun komposisi pelumas yang akan diujikan ke *four-ball machine* yaitu 3,25% *emulsifier*, 0,1 aditif biosida, dan konsentrasi aditif EP yang divariasikan.

Berdasarkan hasil uji *four ball* dapat diketahui bahwa penambahan Aditif EP memiliki hubungan yang lurus dengan jumlah keausan berat *four ball* setelah dilakukan pengujian kinerja tekanan ekstrim pada beban 12 kg (Gambar 4.11), semakin banyak aditif EP yang ditambahkan ke dalam pelumas, maka semakin sedikit keausan berat yang terjadi pada *four ball*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa RBDPO yang telah diemulsikan dengan air memiliki kualitas yang sama dengan *cutting oil* komersil pada konsentrasi aditif EP 7,5% yaitu mengalami keausan sebesar 0,5 mg/jam. Komposisi jenis pelumas yang diuji pada eksperimen ini, terdapat penambahan senyawa biosida, aditif ini ditambahkan sebagai bahan pengawet pelumas, karena aditif ini berfungsi mencegah tumbuhnya bakteri pada pelumas apabila disimpan dalam waktu yang lama.



Gambar 4.11 Histogram Hubungan Penambahan Konsentrasi Aditif *Extreme Pressure* dengan Keausan *Four Ball*

Hasil pengujian menunjukkan bahwa minyak mineral (HVI 160) yang telah diemulsikan dengan air memiliki kualitas yang sama dengan *cutting oil* komersil pada konsentrasi aditif EP 10%.

Jika dibandingkan dengan kinerja tekanan ekstrim *cutting oil* berbahan dasar minyak sawit dengan bahan dasar minyak mineral, dapat disimpulkan bahwa *cutting oil* berbahan dasar minyak sawit lebih baik dibandingkan dengan *cutting oil* berbahan dasar minyak mineral. Hal ini didasarkan pada pengujian tekanan ekstrim yang dilakukan dengan uji *four ball*, dimana *cutting oil* minyak sawit memiliki kualitas yang sama dengan *cutting oil* komersil pada penambahan konsentrasi aditif hingga 7,5%, sedangkan untuk *cutting oil* berbahan dasar minyak mineral memiliki kualitas yang sama dengan *cutting oil* komersil pada penambahan konsentrasi aditif

EP sebesar 10%. Dapat disimpulkan bahwa untuk memformulasi *cutting oil* berbahan dasar minyak mineral membutuhkan aditif EP lebih banyak dibandingkan dengan *cutting oil* berbahan dasar minyak sawit dengan kualitas yang sama. Hal ini diperkirakan akibat molekul asam lemak yang terdapat pada asam lemak minyak nabati yang merupakan bentuk rantai panjang dan mempunyai gugus karboksilat pada ujungnya. Gugus karboksilat pada ujung ikatan molekul ini berkemampuan untuk membentuk ikatan kimia ketika bereaksi dengan 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 persentuhan antar logam. Bentuk-bentuk molekul asam lemak ini merupakan rantai panjang sehingga tidaklah mengherankan jika memiliki berat molekul yang tinggi, seperti asam stearat dan oleat.

Industri *cutting oil* berbahan dasar minyak sawit mempunyai prospek yang cukup baik untuk diimplementasikan. Hal ini berdasarkan keunggulan-keunggulan *cutting oil* berbahan dasar minyak sawit yang telah diuji dan dibandingkan. Dimana formulasi *cutting oil* berbahan dasar minyak sawit membutuhkan lebih sedikit aditif emulsifier (3,25%) dibandingkan minyak mineral (6,25%), dan juga membutuhkan sedikit aditif EP (7,5%) dibandingkan minyak mineral (10%). Hal ini tentu saja sangat berpengaruh apabila industri *cutting oil* berbahan dasar minyak sawit memiliki kapasitas yang besar pertahunnya. Atas dasar keunggulan dalam hal penghematan penggunaan aditif-aditif dibandingkan dengan minyak mineral, dan juga bahan baku minyak sawit sangat berlimpah di Indonesia dan juga lebih murah dibandingkan dengan minyak mineral, dapat disimpulkan industri *cutting oil* berbahan dasar minyak sawit memiliki prospek yang cukup baik jika dijalankan.

BAB V

KESIMPULAN

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

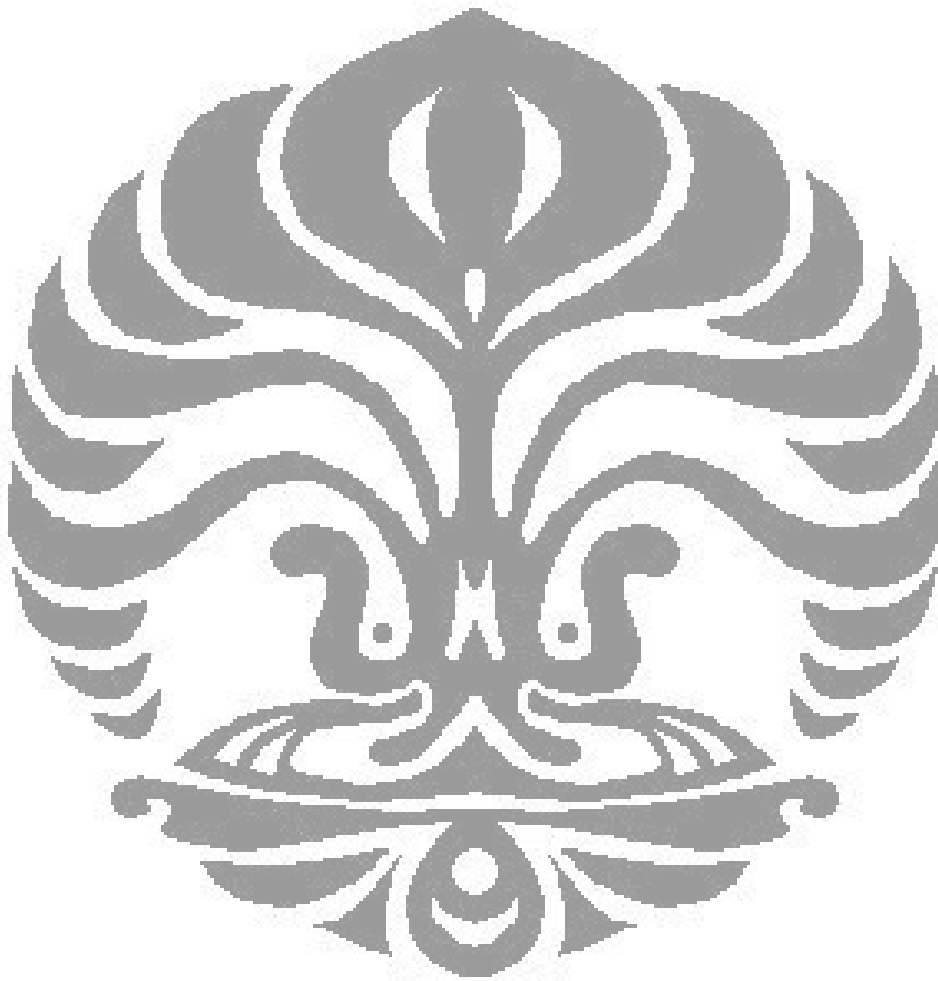
1. Uji oksidasi dengan penambahan suhu 95°C selama 1 jam terhadap minyak sawit dapat meningkatkan bilangan asam (dari 2,67 menjadi 10). Modifikasi yang dilakukan terhadap minyak sawit dengan reaksi epoksidasi dapat menurunkan peningkatan bilangan asam yang terjadi akibat perlakuan oksidasi (dari 3,9 menjadi 6,17). Dan modifikasi dengan epoksidasi ini terbukti meningkatkan ketahanan oksidasi pada minyak sawit.
2. Penambahan *emulsifier* pada *cutting oil* minyak sawit dapat meningkatkan indeks kestabilan emulsi yaitu sebesar 0,5 untuk konsentrasi 0,25 %, menjadi 0,57 untuk konsentrasi 1,75%, dan mencapai indeks kestabilan emulsi terbaik pada konsentrasi 3,25% yaitu sebesar 0,83.
3. Penambahan aditif EP dapat mengurangi keausan yang terjadi pada *cutting oil* minyak sawit yaitu dari keausan 5 mg menjadi 0,5 mg. penambahan aditif EP terbaik untuk formulasi *cutting oil* berbasis minyak sawit adalah 7,5%.
- 4 Industri *cutting oil* berbahan dasar minyak sawit mempunyai prospek yang cukup baik untuk diimplementasikan di Indonesia.
5. Formulasi untuk pembuatan *cutting oil* komersil berbahan dasar minyak sawit yaitu : 15% air, 85% RBDPO yang diepoksidasi. Kemudian dari komposisi tersebut ditambahkan 3,25% konsentrasi *emulsifier* dan 7,5% konsentrasi aditif EP dan 0,1 aditif biosida.

DAFTAR REFERENSI

- ASTM., 1993. ASTM and other specifications for petroleum product and lubricants. ASTM, Philadelphia.
- Azian, M.N., A. A. M. Kamal, F. Panau dan W. K. Ten, 2001. Viscosity Estimation of Triacylglycerols and of some vegetables oils, based on their Triacylglycerol Composition. *JAOCS*. 78 (10): 1001-1005.
- Bannister, K.E., 1996. Lubrication for Industrial. First edition, Industrial Press Inc. Madison Avenue New York.
- Badan Pusat Statistik, 1997. Statistik Indonesia. BPS., Jakarta.
- Badan Pusat Statistik, 1997. Statistik Industri Indonesia., BPS., Jakarta.
- Booser, E.R., 1983. Handbook of Lubrication Theory and Practice of Tribology, Vol 1. Application and Maintenance CRC Press Inc. Boca Raton, Florida USA.
- Che Man, Y.B., G. Setiowaty, and F.R. Van de Voort, 1999a. Determination of Iodine Value of Palm Oil by Fourier Transform Infrared Spectroscopy. *JAOCS*., 76(6): 693-699.
- Ellis, E.G. and F.I. Pet, 1970. Fundamental of Lubrication, The Basic Facts of Lubrication and their selection, Prescription, Spesification, Aplications and Testing. Published by Scientific Publications (G.B.) limited.
- Gatto, V.J. dan M.A. Grina, 1999. Effects of Base Oil Type, Oxidation Test Conditions and Phenolic Antioxidant Structure on the Detection and Magnitude of Hindered Phenol/Dhiphenylamine Synergism. *Journal of the Society of Tribologists and Lubrication Engineerings*. Januari: 11-20.

- Hong, H., A.T. Riga, J.M. Cahoon and J.N. Vinci, 1993. Evaluation of Overbased Sulfonates as Extreme Pressure Additives in Metalworking Fluids. *Lubr. Eng.* 49 (1): 19-24.
- Ketaren, S., Z.A. Mas'ud, A. Suryani, Z. Nasution, E. Noor dan M.Yamin dan T. Bantacut, 1994. Identifikasi Komponen Rolling Oil yang Digunakan pada Pembuatan Plat Baja Dengan Proses Rolling Dingin. Laporan Penelitian, Kerja Sama PT. Krakatau Steel dengan Lembaga Penelitian IPB Bogor.
- Klamann, D., 1984. *Lubrications and Related Products. Synthesis, Properties, Applications International Standard.* Verlag Chemie, Weinheim Deerfield Beach, Florida.
- Kraan, D.J., 1981. Metal Forming Oils "How Their Applications Increase Tool life". *Trib. International*, February: 29-32.
- Muller, H.G., 1978. Mechanism of Action of Viscosity Index Improver. *Trib. International*, June:189-192.
- Nachman E.S. and S. Kalpakjian, 1985. *Lubricants and Lubrication in Metalworking Operations.* Copyright, Marcel Dekker Inc. New York.
- Pakan, T.S., 1990. Identifikasi Mutu Minyak Lumas Roda Gigi dengan Tekanan Ekstrim pada Mesin Four-Ball, Lembar Publikasi Lemigas, Jakarta.
- Pakan, T.S., 1990. Pengaruh Aditif pada Tekanan Ekstrim Minyak Roda Gigi. Lembar Publikasi Lemigas, Jakarta.
- Rondang T. Buku Ajar Teknologi Oleokimia. Medan : Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara; 2006

Salunkhe, D.K., J.K. Chavan, R.N. Adsule, and S.S. Kadam. 1992. World Oil Seeds: Chemistry, Technology and Utilization. An Avi Pub. Van Nostrand Reinhold, New York.



Lampiran 1. Prosedur Analisis Sifat Fisik, Kimiawi. Pengujian Kinerja Emulsifier dan Kinerja Tekanan Ekstrim

1. Bilangan Asam (AOAC,1995)

Bilangan asam adalah ukuran dari jumlah asam lemak bebas yang terkandung di dalam minyak atau lemak. Bilangan asam dihitung berdasarkan bobot molekul dari asam lemak atau campuran asam lemak. Minyak atau lemak yang akan diuji ditimbang sebanyak 5-10 gram, dan dimasukkan ke dalam Erlenmeyer 250 ml, kemudian ditambahkan 50 ml alcohol netral 95% selanjutnya dipanaskan selama 10 menit diatas penangas air sambil diaduk. Larutan tersebut didinginkan, kemudian dititrasi dengan larutan KOH 0,1 N dengan indikator fenolftalein 1 persen, sampai terbentuk warna merah jambu yang tidak hilang selama 10 detik. Bilangan asam dihitung dengan rumus berikut.

$$\text{bilangan asam} = \frac{\text{ml KOH} \times \text{N KOH} \times 56,1}{\text{bobot contoh}}$$

2. Bilangan Peroksida (AOAC, 1995)

Contoh minyak sebanyak 5 gram dilarutkan ke dalam larutan asam asetat dan kloroform (3:2). Setelah semua minyak larut, lalu ditambahkan larutan KI jenuh sebanyak 0,5 ml sambil dikocok. Kemudian ditambahkan 30 ml air aquadest, selanjutnya dititrasi dengan natrium tiosulfat 0,1 N dengan indikator larutan kanji.

$$\text{bilangan peroksida} = \frac{S \times N \times 8 \times 100}{G}$$

S= ml titer G= bobot contoh (gr) 8= setengah bobot molekul oksigen

3. ESI (Indeks Ksetabilan emulsi/*Emulsion stability indeks*)

Pengukuran ESI didasarkan pada modifikasi prosedur yang digunakan di industri baja (berdasarkan Nippon Quaker Chemical, Ltd.) dan ASTM D1479 (Natchman dan Kalpakjian, 1985). Pengukuran ESI dilakukan dengan cara memasukkan 100 ml larutan emulsi ke dalam tabung besar. Setelah 24 jam, 25 ml bagian teratas dan 25 ml bagian terbawah dipisahkan dalam gelas ukur yang berbeda. Kedalam dua gelas ukur tersebut, ditambahkan larutan H₂SO₄ pekat. Kemudian krim yang terbentuk masing-masing diukur. Jika volume krim yang terdapat pada 25 ml larutan emulsi bagian atas sama dengan D dan volume krim yang terdapat pada 25 ml larutan emulsi bagian terbawah sama dengan C maka

$$ESI = D/C$$

4. Uji Depleksi (*Depletion Test*)

Pengujian ini digunakan untuk menentukan derajat ketidak stabilan atau kerusakan suatu emulsi. Pengujian ini dapat dilakukan bersamaan dengan penyimpanan produk selama 24 jam pada *separation test*. Pengujian ini merupakan modifikasi dari ASTM D 1479. Setelah pencatatan jumlah dari minyak dihitung dengan merusak emulsi yang dilakukan dengan penambahan H₂SO₄ pekat. Kandungan minyak dan krim (D) dibandingkan dengan kandungan minyak dan krim awal (A) dari contoh sehari sebelumnya. Persentase depleksi dapat dihitung dengan rumus:

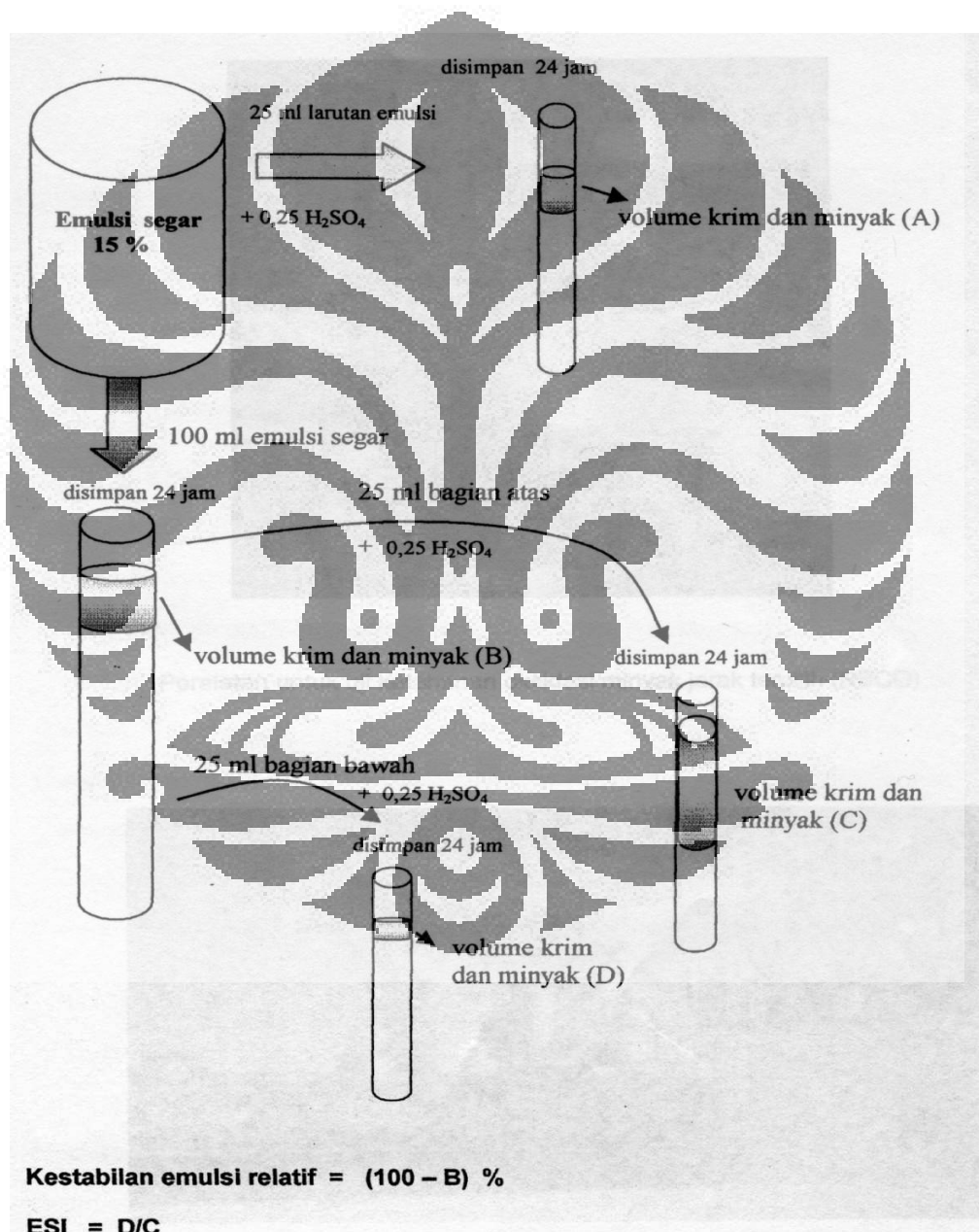
$$D\% = \frac{A-D}{A} \times 100\%$$

5. Kestabilan Emulsi Relatif (*separation test*)

jumlah minyak yang tidak teremulsi dengan baik dapat diukur dengan mengisi tabung reaksi dengan 100ml contoh emulsi. Kemudian contoh tersebut

dibiarkan selama 24 jam. Jumlah minyak yang telah terpisah dari emulsi dan mengapung di bagian atas serta jumlah krim diukur. Semakin banyak jumlah minyak krim bebas dan krim, berarti emulsi semakin tidak stabil.

Berikut adalah metode pengujian parameter kestabilan emulsi



Lampiran 2. Data Uji Ketahanan Oksidasi

							BILANGAN ASAM		
			ml KOH	N KOH	mr KOH	bobot sample			
PO1	cutting oil komersil		13.5	0.1	56.1	9.3			8.143548
PO2			25	0.1	56.1	10			14.025
PO1	RBDO		5	0.1	56.1	10.5			2.671429
PO2			18	0.1	56.1	10			10.098
PO1	EPOKSIRBDO		7	0.1	56.1	10			3.927
PO2			11	0.1	56.1	10			6.171

Lampiran 3. Hasil Uji Kinerja *Emulsifier*

1. RBDPO

konsentrasi 0,25% (ml)		konsentrasi 1,75% (ml)	
A=	12	A=	10
B=	13	B=	11.5
C=	5	C=	5
D=	1.5	D=	2.5
ESI=	0.3	ESI=	0.5
%D=	0.875	%D=	0.75
KER=	87	KER=	88.5

konsentrasi 3,25% (ml)		konsentrasi 4,75% (ml)	
A=	10	A=	10
B=	11.5	B=	12
C=	5	C=	8
D=	2.5	D=	6
ESI=	0.5	ESI=	0.75
%D=	0.75	%D=	0.4
KER=	88.5	KER=	88

konsentrasi 6,25% (ml)	
A=	9
B=	13
C=	9
D=	5.5
ESI=	0.611111111
%D=	0.388888889
KER=	87

2. Epoksi RBDPO

konsentrasi 0,25% (ml)	
A=	11
B=	10
C=	4
D=	2
ESI=	0.5
%D	0.818181818
KER	90

konsentrasi 1,75% (ml)	
A=	9
B=	9
C=	7
D=	4
ESI=	0.571428571
%D	0.555555556
KER	91

konsentrasi 3,25% (ml)	
A=	8
B=	8
C=	6
D=	5
ESI=	0.833333333
%D	0.375
KER	92

konsentrasi 4,75% (ml)	
A=	10
B=	12
C=	8
D=	6
ESI=	0.75
%D	0.4
KER	88

konsentrasi 6,25% (ml)	
A=	9
B=	13
C=	9
D=	5.5
ESI=	0.611111111
%D	0.388888889
KER	87

3. Minyak merial HVI 160

konsentrasi 0,25% (ml)	
A=	8
B=	15
C=	6
D=	2
ESI=	0.333333333
%D=	0.75
KER=	85

konsentrasi 1,75% (ml)	
A=	9
B=	14
C=	7
D=	4
ESI=	0.571428571
%D=	0.555555556
KER=	86

konsentrasi 3,25% (ml)	
A=	10
B=	13
C=	7
D=	5
ESI=	0.714285714
%D=	0.5
KER=	87

konsentrasi 4,75% (ml)	
A=	10
B=	13
C=	7
D=	5.5
ESI=	0.785714286
%D=	0.45
KER=	87

konsentrasi 6,25% (ml)	
A=	9.5
B=	11.5
C=	7.5
D=	6
ESI=	0.8
%D=	0.368421053
KER=	88.5

konsentrasi 7,75% (ml)	
A=	8
B=	12
C=	6
D=	4
ESI=	0.666666667
%D	0.5
KER	88

Lampiran 4. Hasil Uji Kinerja Tekanan Ekstrim

1. Epoksi RBDPO

	0% EP	2,5% EP	5% EP	7,5%EP
berat sblm	2.0119	2.0828	2.047	2.0454
	2.0248	2.0306	2.0471	2.0468
	2.0452	2.045	2.0472	2.0485
	2.0129	2.0462	2.048	2.0458
	total	8.0948	8.2046	8.1893
berat sesudah	2.0115	2.0305	2.0469	2.0452
	2.0216	2.0826	2.047	2.0483
	2.0118	2.046	2.0469	2.0467
	2.0449	2.0445	2.0478	2.0458
	total	8.0898	8.2036	8.1886
Total pengurangan berat four ball				
	0% EP	2,5% EP	5% EP	7,5%EP
gr	0.005	0.001	0.0007	0.0005
mg	5	1	0.7	0.5

5. Minyak Mineral HVI 160

	0% EP	2,5% EP	5% EP	7,5% EP	10% EP	ct komersil
berat sblm	2.0119	2.0828	2.047	2.0454	2.0481	2.0464
	2.0248	2.0306	2.0471	2.0468	2.0471	2.0471
	2.0452	2.045	2.0472	2.0485	2.046	2.0482
	2.0129	2.0462	2.048	2.0458	2.0481	2.045
total	8.0948	8.2046	8.1893	8.1865	8.1893	8.1867
berat sesudah	2.0115	2.0302	2.0466	2.0451	2.0479	2.0448
	2.0236	2.0825	2.0468	2.0484	2.048	2.0481
	2.0118	2.046	2.0471	2.0466	2.045	2.047
	2.0446	2.0445	2.0478	2.0457	2.048	2.0463
total	8.0915	8.2032	8.1883	8.1858	8.1889	8.1862
Total pengurangan berat four ball						
	0% EP	2,5% EP	5% EP	7,5% EP	10% EP	CT KOM
gr	0.0033	0.0014	0.001	0.0007	0.0004	0.0005
mg	3.3	1.4	1	0.7	0.4	0.5