



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMBUATAN GEMUK BIO LITHIUM KOMPLEK
MENGUNAKAN PELUMAS HASIL EPOKSIDASI MINYAK
SAWIT**

SKRIPSI

INSAN HALIM MAULUDI

06 06 04 3124

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM JURUSAN TEKNIK KIMIA
DEPOK
DESEMBER 2008**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMBUATAN GEMUK BIO LITHIUM KOMPLEK
MENGUNAKAN PELUMAS HASIL EPOKSIDASI MINYAK
SAWIT**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik

INSAN HALIM MAULUDI

06 06 04 3124

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
DEPOK
DESEMBER 2008**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

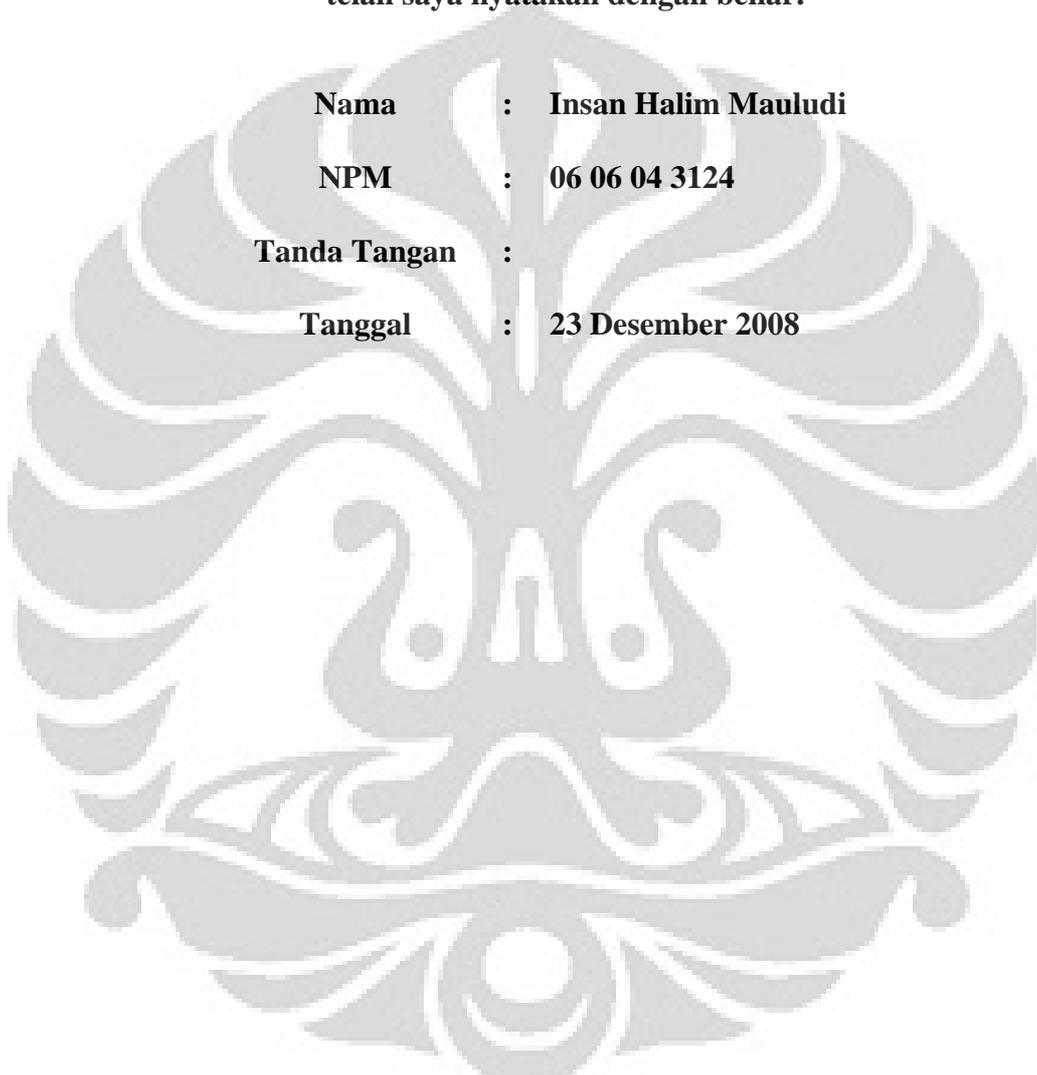
**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Insan Halim Mauludi

NPM : 06 06 04 3124

Tanda Tangan :

Tanggal : 23 Desember 2008



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Insan Halim Mauludi
NPM : 06 06 04 3124
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi : Pembuatan Gemuk Bio Lithium Komplek
Menggunakan Pelumas Hasil Epoksidasi Minyak
Sawit

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 I : Ir. Sukirno, M.Eng (.....)

Pembimbing II : - - -

Penguji : Ir. Setiadi , M.Eng (.....)

Penguji : Ir. Dewi Tristatini, MT., PhD (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 23 Desember 2008

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur terpanjatkan kepada Allah SWT, Rabb semesta alam yang telah memberikan berbagai kenikmatan kepada umat manusia, termasuk penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini dengan sebaik-baiknya.

Penulisan skripsi ini dengan judul ‘Pembuatan Gemuk Bio Lithium Komplek Menggunakan Pelumas Hasil Epoksidasi Minyak Sawit’ dilakukan dalam rangka memenuhi syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Kimia pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Selama proses penyusunan skripsi ini, penulis telah banyak mendapatkan masukan maupun bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

- 1) Bapak Ir. Sukirno, M.Eng atas bimbingan dan ilmu yang bermanfaat bagi penulis.
- 2) Bapak Prof. Dr. Ir. Widodo Wahyu Purwanto, DEA selaku Ketua Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- 3) Bapak Prof. Dr. Ir. Mohammad Nasikin, M.Eng selaku Ketua Research Group Perancangan Produk Kimia dan Alam.
- 4) Keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral.
- 5) Sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 23 Desember 2008

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Insan Halim Mauludi
NPM : 06 06 04 3124
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 Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Pembuatan Gemuk Bio Lithium Komplek Menggunakan Pelumas Hasil
Epoksidasi Minyak Sawit

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 23 Desember 2008

Yang menyatakan

(Insan Halim Mauludi)

ABSTRAK

Nama : Insan Halim Mauludi
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Pembuatan Gemuk Bio Lithium Menggunakan Pelumas Hasil Epoksidasi Minyak Sawit

Penelitian ini membahas tentang pembuatan gemuk bio lithium kompleks menggunakan pelumas hasil epoksidasi minyak sawit. Diharapkan dengan penggunaan minyak sawit dan *complexing agent* akan didapatkan komposisi dan produk gemuk bio lithium yang memiliki sifat *biodegradable* dan memiliki ketahanan terhadap suhu lebih tinggi dari 206°C. *Complexing agent* yang ditambahkan adalah asam asetat. Komposisi *complexing agent* divariasikan 0, 2, 3 dan 5 persen. *Additive extreme pressure* dan *anti wear* juga ditambahkan dan divariasikan 0 ; 0,5 ; 1 dan 2 persen. Produk yang didapatkan diuji karakteristik *dropping point*, *penetration* dan *four ball test*. Hasil dari penelitian didapatkan *dropping point* lebih dari 206°C akibat pengaruh penggunaan *complexing agent*. Didapatkan pula produk gemuk bio lithium yang memiliki kualitas lebih baik dibandingkan gemuk komersil.

Kata kunci :
complexing agent, dropping point, additive

ABSTRACT

Nama : Insan Halim Mauludi
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Production Of Bio Grease Lithium Complex Using
Lubricant From Epoxidation Crude Palm Oil

In this research the bio grease lithium complex had been made used lubricant from epoxidation crude palm oil. The grease that had been made are expected to have biodegradability and have stability at high temperature more than 206 °C. The *complexing agent* which be add in to mixture acetic acid. Different amount of *complexing agent* 0; 2; 3 and 5 persen. Anti wear and extreme pressure additive is added and varied also to 0 ; 0,5 ; 1 and 2 persen. *Dropping point test*, *penetration test* and *four ball test* is provide to the product. The result of this research *dropping point test* increased from 206°C, in fluenced by *complexing agent*. A bio lithium grease which has a better quality than commercial grease is obtained.

Key words :
complexing agent, dropping point, additive

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN.....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Gemuk Pelumas	5
2.1.1 Gemuk Bio	5
2.1.2 Sifat Gemuk Pelumas.....	6
2.2 Bahan Dasar Gemuk Pelumas.....	10
2.1.3 Minyak Dasar (<i>Base Oil</i>)	10
2.1.3.1 Minyak Sawit	11
2.1.3.2 Epoksida.....	14
2.3 Bahan Pengental.....	15
2.3.1 Sabun Biasa (<i>Conventional Soap</i>).....	16
2.3.2 Sabun Komplek (<i>Complex Soap</i>).....	17
2.4 Additive.....	22
2.4.1 <i>Anti Oxidant</i>	22
2.4.2 <i>Extreme Pressure</i>	23
2.4.3 <i>Corrosion Inhibitor</i>	23
2.4.4 <i>Metal Deactivator</i>	24
2.4.5 <i>Anti Wear</i>	24
2.5 Proses Pembuatan Gemuk Bio Lithium Kompleks.....	24
2.5.1 Pengisian Bahan Baku	25
2.5.2 Reaksi Penyabunan	26
2.5.2.1 Penyebaran Awal	27
2.5.2.2 Penghilangan Air.....	27
2.5.2.3 Penyebaran Akhir.....	28
2.5.2.4 Penghilangan Air dan Udara.....	29
2.5.2.5 Pendinginan.....	29
2.5.3 Homogenisasi.....	29
2.6 Parameter Uji Gemuk Pelumas	30
2.6.1 <i>Dropping Point</i>	30
2.6.2 <i>Consistency</i>	31
2.6.3 <i>Four Ball Test</i>	32

BAB 3 METODE PENELITIAN	34
3.1 Diagram Alir Penelitian	34
3.2 Bahan dan Peralatan.....	34
3.3 Prosedur Pembuatan Gemuk Pelumas	35
3.4 Pengujian Gemuk Pelumas	38
3.4.1 <i>Penetration</i> (ASTM D-217).....	38
3.4.2 <i>Dropping Point</i> (ASTM D-566).....	39
3.4.3 <i>Four Ball Test</i> (ASTM D-4172)	39
BAB 4 PEMBAHASAN	41
4.1 GEMUK BIO LITHIUM KOMPLEK.....	41
4.1.1 Hasil Pengamatan Visual Warna dan Bentuk Sabun Lithium Komplek	41
4.1.2 Pengaruh <i>Complexing Agent</i> Terhadap <i>Dropping Point</i>	42
4.1.3 Pengaruh <i>Complexing Agent</i> Terhadap Uji <i>Penetration</i>	43
4.1.4 Pengaruh <i>Complexing Agent</i> Terhadap Uji <i>Four Ball Test</i>	45
4.1.5 Pengaruh Penambahan <i>Additive Anti Wear</i> dan <i>Extreme Pressure</i> Terhadap Uji <i>Four Ball Test</i>	46
4.1.6 Pengaruh Penambahan <i>Additive Anti Wear</i> dan <i>Extreme Pressure</i> terhadap <i>Dropping point</i> dan <i>Penetration</i>	47
4.1.7 Perbandingan hasil uji antara gemuk bio lithium kompleks dengan	49
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	52
5.1 KESIMPULAN	52
5.2 SARAN	52
DAFTAR REFERENSI	54
LAMPIRAN.....	53

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 NLGI <i>Grease Classification</i>	8
Tabel 2. 2 Produksi CPO Dunia, (dalam ribuan ton)	12
Tabel 2. 3 Karakteristik Minyak Sawit	13
Tabel 2. 4 Komposisi Trigliserida pada Minyak Sawit	13
Tabel 2. 5 Kandungan Trigliserida berdasarkan Asam Lemak	14
Tabel 2. 6 <i>Data base</i> penggunaan ragam <i>complexing agent</i> terhadap hasil uji gemuk pelumas	20
Tabel 4. 1 Hasil Pengamatan Visual terhadap Produk Gemuk Bio Lithium	42
Tabel 4. 2 Hasil Uji <i>Penetration</i> ASTM D-217	44
Tabel 4. 3 Hasil Uji <i>Four Ball Test</i>	45
Tabel 4. 4 Perolehan NLGI <i>Class</i> dan <i>Consistency</i> pada Beberapa Komposisi Penambahan <i>Additive</i>	48
Tabel 4. 5 Perbandingan Hasil Uji Gemuk Bio dengan Gemuk Komersil	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Mekanisme Reaksi Epoksidasi Ester.....	15
Gambar 2. 2 Struktur dari Ragam <i>Complexing Agent</i>	19
Gambar 2. 3 Reaksi Pembentukan Lithium Stearat	21
Gambar 2. 4 Reaksi Pembentukan Lithium Asetat	21
Gambar 2. 5 Reaktor Gemuk Bio <i>Autoclave</i>	26
Gambar 2. 6 <i>Cristalizador</i> Gemuk Bio.....	29
Gambar 2. 7 <i>Homogenizer</i> Gemuk Bio.....	30
Gambar 2. 8 <i>Dropping Point Tester</i>	31
Gambar 2. 9 <i>Penetration Tester</i>	32
Gambar 2. 10 <i>Four Ball Tester</i>	33
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	34
Gambar 3. 2 Diagram Alir Pembuatan Gemuk Pelumas	36
Gambar 3. 3 Diagram Kalibrasi Penetometer	38
Gambar 4. 1 Gemuk Bio Lithium Komplek	41
Gambar 4. 2 Perbandingan Perolehan <i>Dropping Point</i> dengan Persen Penambahan <i>Complexing Agent</i>	43
Gambar 4. 3 Perolehan Nilai <i>Penetration Test</i> dengan Bertambahnya Persen Komposisi <i>Complexing Agent</i>	44
Gambar 4. 4 Perolehan Hasil Uji <i>Four Ball Test</i> dengan Bertambahnya Komposisi <i>Complexing Agent</i>	45
Gambar 4. 5 Perbandingan Perolehan Hasil Uji <i>Four ball test</i> dengan Bertambahnya Persen <i>Additive</i>	47
Gambar 4. 6 Perolehan Angka <i>Penetration</i> pada Gemuk Bio dengan Bertambahnya Persen Komposisi <i>Additive</i>	48
Gambar 4. 7 Perolehan <i>Dropping Point</i> pada Gemuk Bio Seiring Bertambahnya Persen Komposisi <i>Additive</i>	49
Gambar 4. 8 Perbandingan Perolehan <i>Dropping Point</i> antara Gemuk Bio dengan Gemuk Komersil	50
Gambar 4. 9 Perbandingan Uji <i>Four Ball Test</i> antara Gemuk Bio Lithium dengan Gemuk Komersil	51

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia sebagai negara penghasil minyak sawit terbesar kedua di dunia, memiliki potensi besar untuk mengembangkan pelumas bio yang berasal dari minyak sawit. Pelumas bio dapat menggantikan pelumas mineral yang keberadaannya terbatas dan tidak dapat diperbaharui. Pelumas bio memiliki keunggulan dibanding pelumas mineral yaitu sifatnya yang ramah lingkungan dan dapat terurai di alam dengan sendirinya (*biodegradable*).

Keunggulan lain dari penggunaan minyak sawit sebagai pelumas bio adalah dikarenakan minyak sawit memiliki gugus fungsi yang dapat melindungi permukaan dari kontak langsung sehingga dapat mengurangi gesekan antara kedua permukaan yang saling bergerak. Minyak sawit yang digunakan sebagai pelumas harus diproses terlebih dahulu untuk meningkatkan ketahanannya terhadap oksidasi. Proses yang dilakukan adalah transesterifikasi atau epoksidasi. Dari pelumas bio kita dapat mengembangkan produk-produk pelumas lainnya sesuai dengan karakteristik mesin atau peruntukkannya. Salah satu produk pelumas bio yang digunakan pada *bearing* atau bantalan roda yaitu gemuk bio. Penggunaan gemuk bio sebagai pelumas dapat meminimalkan pencemaran lingkungan yang diakibatkan pembuangan limbah gemuk pelumas yang berbasis minyak mineral.

Aplikasi gemuk bio pada kondisi operasi temperatur yang tinggi, menyebabkan tuntutan terhadap kualitas gemuk bio meningkat. Gemuk bio dituntut memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi agar fungsi pelumasan tidak berkurang atau menurun yang diakibatkan hilangnya gemuk bio yang menempel pada permukaan benda yang dilumasi. Gemuk bio yang tahan pada kondisi operasi temperatur yang tinggi adalah gemuk bio lithium.

Penelitian terhadap gemuk bio lithium telah dilakukan pada skripsi sebelumnya yaitu oleh Dizi Mardiansyah, 2007. Produk gemuk bio lithium yang didapatkan memiliki *dropping point* pada titik suhu 206⁰C. Penunjukan *dropping*

point dititik suhu 206⁰C menunjukkan bahwa gemuk bio lithium yang didapatkan hanya memiliki ketahanan maksimal terhadap temperatur pada titik suhu tersebut, dimana lewat dari suhu itu maka gemuk bio mulai menetes (*cair*).

Pada skripsi ini dengan penggunaan *complexing agent* diharapkan adanya peningkatan *dropping point* dari produk gemuk bio lithium menjadi lebih tinggi dari nilai 206⁰C. Sehingga, akan diperoleh produk gemuk bio lithium yang memiliki ketahanan terhadap temperatur lebih tinggi dibandingkan produk hasil penelitian sebelumnya.

Penggunaan *complexing agent* yaitu asam asetat pada komposisi formula gemuk bio lithium akan divariasikan pada komposisi *thickener* 15 % hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari perbedaan komposisi *complexing agent* terhadap hasil uji *dropping point* produk gemuk bio lithium yang didapatkan. Di samping itu, pengaruh penggunaan *complexing agent* terhadap parameter analisis lainnya seperti *penetration* dan *four ball test* juga dievaluasi.

Pada penelitian ini dilakukan juga variasi penambahan *additive extreme pressure* dan *anti wear* pada komposisi *complexing agent* tertentu, dengan tujuan didapatkannya komposisi dan produk gemuk bio lithium kompleks yang memiliki kualitas lebih baik dibandingkan dengan gemuk lithium yang terdapat dipasaran (gemuk komersil) dari segi kemampuannya dalam menahan keausan pada logam yang dilumasi.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang dirumuskan beberapa permasalahan yang ada pada skripsi ini yaitu :

1. Bagaimana peningkatan nilai *dropping point* pada produk gemuk bio lithium setelah penambahan *complexing agent* ?
2. Bagaimana pengaruh dari penggunaan *complexing agent* terhadap nilai *penetration* dan *four ball test* ?
3. Bagaimana pengaruh penggunaan *additive extreme pressure* dan *anti wear* terhadap kualitas gemuk bio lithium kompleks ?

4. Bagaimana komposisi yang tepat dari penggunaan *complexing agent* dan *additive* ? sehingga kualitas gemuk bio lithium kompleks menjadi lebih baik dibandingkan gemuk komersil.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Diperoleh produk gemuk bio lithium kompleks yang memiliki nilai *dropping point* lebih tinggi 206°C .
2. Didapatkan hubungan antara penambahan *complexing agent* dengan nilai *penetration* dan nilai *four ball test*.
3. Didapatkan hubungan antara penambahan *additive* dengan kualitas gemuk bio lithium kompleks.
4. Didapatkan komposisi produk gemuk bio lithium kompleks yang memiliki kualitas lebih baik dibandingkan dengan gemuk komersil.

1.4 Batasan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam makalah ini adalah :

1. *Complexing agent* yang digunakan adalah asam asetat.
2. Komposisi *thickener* yang digunakan pada pembuatan gemuk bio lithium kompleks adalah sebesar 15 % dari total komposisi gemuk.
3. Pengujian yang dilakukan untuk menguji kualitas gemuk bio lithium kompleks adalah uji *dropping point*, *penetration value*, dan *four ball test*.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan makalah ini disusun sebagai berikut :

Abstrak

BAB 1 : Pendahuluan

Bab ini berisikan latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah dan sistematika penulisan

BAB 2 : Tinjauan Pustaka

Bab ini berisikan tentang gemuk pelumas, bahan dasar gemuk pelumas, proses pembuatan gemuk bio lithium kompleks, dan parameter uji gemuk bio.

BAB 3 : Metode Penelitian

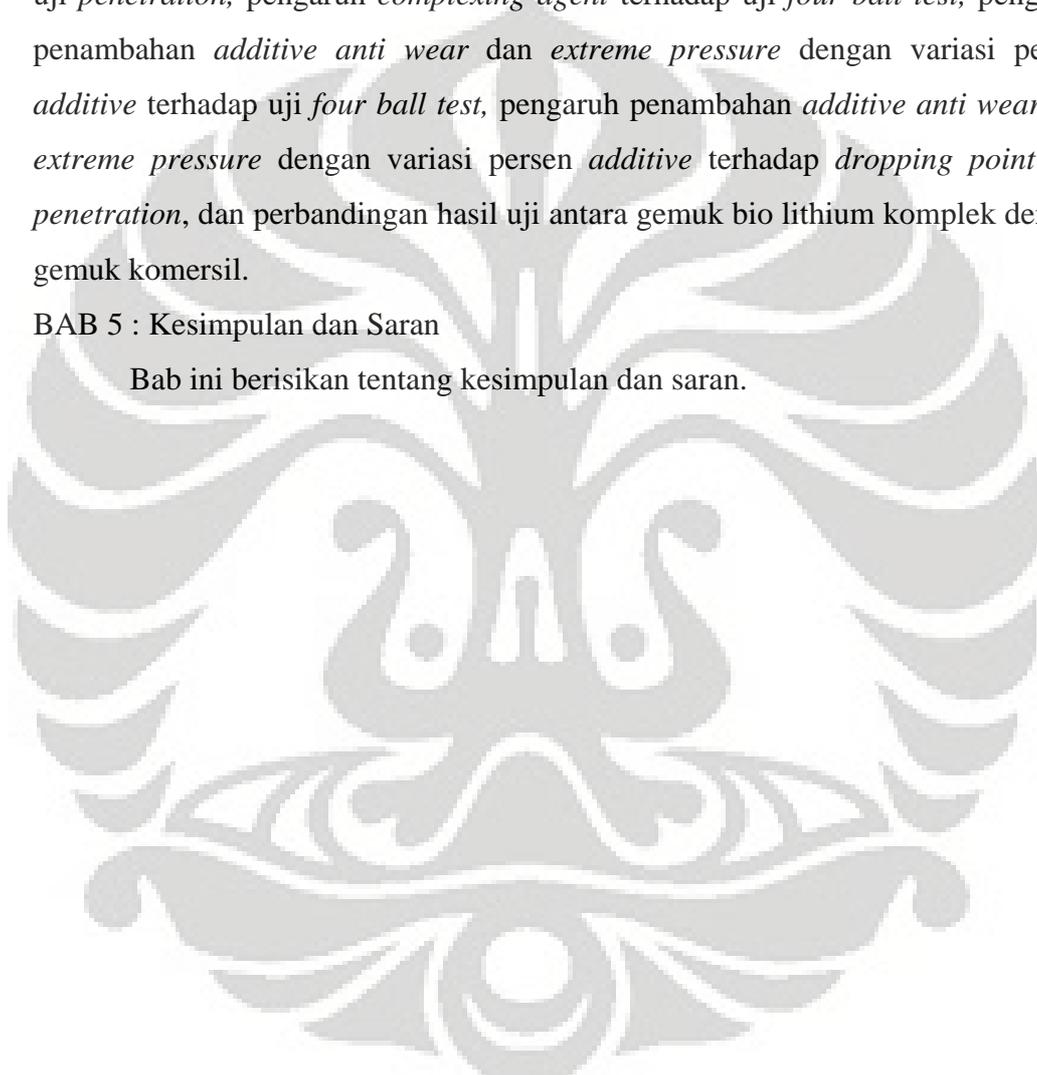
Bab ini berisikan tentang diagram alir penelitian, bahan dan alat yang digunakan, serta prosedur penelitian analisa gemuk pelumas dengan menggunakan alat *penetration*, *dropping point*, dan *four ball test*.

BAB 4 : Pembahasan

Bab ini berisikan tentang gemuk bio lithium kompleks, pengaruh *complexing agent* terhadap *dropping point*, pengaruh *complexing agent* terhadap uji *penetration*, pengaruh *complexing agent* terhadap uji *four ball test*, pengaruh penambahan *additive anti wear* dan *extreme pressure* dengan variasi persen *additive* terhadap uji *four ball test*, pengaruh penambahan *additive anti wear* dan *extreme pressure* dengan variasi persen *additive* terhadap *dropping point* dan *penetration*, dan perbandingan hasil uji antara gemuk bio lithium kompleks dengan gemuk komersil.

BAB 5 : Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisikan tentang kesimpulan dan saran.



BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gemuk Pelumas

Gemuk pelumas merupakan senyawa semi padat hingga padat yang terdiri dari pelumas cair (*base oil*), bahan pengental (*thickener*) dan *additive*. "Senyawa Gemuk pelumas memiliki campuran antara pelumas cair 75-95% dengan bahan pengental (*thickener*) 5-20% dan *additive* 0-15%" (Marius, 2007, hal. 5)

Pelumas cair (*base oil*) yang digunakan dapat diperoleh dari minyak mineral, minyak sintesis, atau dari minyak yang berasal dari tumbuhan atau minyak nabati.

Bahan pengental dapat berasal sabun (*soap*) atau dari bukan sabun (*non soap*), *thickener* yang berasal dari *soap* merupakan reaksi antara asam lemak dengan alkali hidroksida. Alkali yang digunakan antara lain aluminium hidroksida, calcium hidroksida atau lithium hidroksida sedangkan asam lemak yang digunakan dapat berasal dari minyak sawit, minyak zaitun, minyak kedelai atau dari lemak hewan.

Additive yang ditambahkan pada *grease* yaitu *Anti Wear*, *Extreme Pressure*, *corrosion inhibitor*, *metal deactivator*, *anti oxidant* penambahan *additive* disesuaikan dengan tujuan aplikasi produk dilapangan.

2.1.1 Gemuk Bio

Gemuk Bio merupakan gemuk pelumas yang dibuat dari bahan yang ramah lingkungan dan dapat terdegradasi oleh mikroba di alam. Dari bahan baku pembuatan gemuk pelumas dapat dikembangkan gemuk pelumas dengan *base oil* yang berasal dari minyak nabati dan bahan pengental yang juga dari minyak nabati. *Base oil* yang digunakan merupakan hasil turunan dari minyak sawit sedangkan bahan pengentalnya merupakan sabun yang dibuat reaksi alkali dengan turunan minyak nabati (*castrol oil*) yaitu asam stearat (*12-Hidroxy stearic*). Dengan bahan baku tersebut maka diharapkan gemuk pelumas yang didapatkan memiliki sifat yang dapat terurai oleh mikroba di alam (*biodegradable*). Di

pasaran, tersedia Gemuk Bio salah satunya adalah produk dari *Wise Solution* dengan produk *Bio-EP Greases*.

Biodegradable didefinisikan sebagai kemampuan terdegradasi atau terurai di alam dengan bantuan mikroba. Gemuk pelumas yang berkarakteristik *biodegradable* adalah gemuk pelumas yang ramah lingkungan dan tidak mencemari lingkungan jika terbuang ke lingkungan.

Gemuk pelumas *foodgrade* adalah pelumas gemuk yang berfungsi sebagaimana fungsi pelumas pada umumnya tetapi diciptakan untuk memenuhi standar keamanan pangan yaitu tidak beracun, tidak berasa dan tidak berbau, sehingga aman digunakan pada mesin-mesin yang memproduksi bahan pangan dan makanan dengan harapan jika terjadi kontaminasi pada produk pangan maka tidak akan berbahaya bagi konsumen produk pangan tersebut.

2.1.2 Sifat Gemuk Pelumas

Gemuk pelumas digunakan dengan tujuan sebagai pelumas pada bagian-bagian yang terbuka pada mesin. Oleh karena itu gemuk pelumas harus memiliki sifat-sifat seperti dibawah ini :

1) *Dropping point* yang tinggi

Dropping point adalah titik suhu dimana gemuk pelumas mulai menetes dan mencair (Albert, 2007). *Dropping point* yang tinggi diperlukan pada gemuk pelumas karena diharapkan fungsi pelumasan tidak berkurang yang diakibatkan pencairan gemuk pelumas akibat dari naiknya suhu operasi mesin yang dilumasi.

2) *Apparance viscosity*

Pada saat startup mesin maka gemuk pelumas akan kesulitan bergerak hal ini dikarenakan tingginya viskositas dari gemuk pelumas. *Apparance viscosity* adalah penampilan kekentalan(Albert, 2007). Pada gemuk pelumas viskositas sangat bergantung pada suhu. Gemuk pelumas mulai bergerak saat viskositasnya menjadi turun atau encer disebabkan oleh kenaikan suhu lingkungan.

3) *Bleeding dan syneresis*

Bleeding adalah kondisi pada saat pelumas cair terpisah dari *thickenernya*. *Bleeding* terjadi jika dilakukan penyimpanan pada waktu yang lama, atau ketika gemuk pelumas dialirkan dipipa pada tekanan tinggi sehingga pelumas cair terpisah dari *thickenernya* (Dizi, 2007). Saat pelumas terpisah dengan

*thickener*nya maka konsentrasi *thickener* akan meningkat sehingga dapat menyumbat jalur pelumasan. Hal ini merupakan karakteristik dari gemuk pelumas yang tidak baik. *Syneresis* adalah kasus special pada proses *bleeding* dimana terjadi penyusunan ulang struktur kimia dan fisika antara dua gemuk yang berbeda akibat dari pertukaran pelumas yang disebabkan oleh proses *bleeding* (Albert, 2008).

4) *Consistency, penetration, and National Lubricating Grease Institute (NLGI) Numbers*

Karakteristik yang sangat penting dari gemuk pelumas adalah *consistency* atau *rigidity*. *Consistency* adalah suatu keadaan yang menunjukkan kekerasan atau kelunakan suatu gemuk pelumas (Albert, 2008). Jika gemuk pelumas terlalu kaku maka tidak dapat melumasi area yang diwajibkan untuk dilumasi tetapi jika gemuk pelumas tidak memiliki sifat kekakuan maka ketika gemuk pelumas tersebut mencair maka akan terjadi kebocoran yang tidak diinginkan. Karakteristik kekakuan dan *consistency* dari gemuk pelumas bergantung pada banyaknya *thickener* yang digunakan dan ditentukan dari kekentalan (*Viscosity*) dari pelumas cair yang digunakan (Albert, 2008). Ukuran dari *consistency* dari gemuk pelumas disebut *penetration*. Uji *penetration* tergantung pada pengukuran dapat dilakukan ketika gemuk pelumas sedang bekerja atau dalam kondisi penyimpanan atau tidak bekerja. Metode pengukuran *penetration* gemuk pelumas dapat merujuk pada *American Standard Testing Methode (ASTM D 217)* dan (*ASTM D 1403*) (Albert, 2008). Setelah dilakukan pengujian gemuk pelumas dapat di klasifikasikan sesuai dengan *NLGI numbers* maka pada tabel 2.2 dapat dilihat perbandingan hasil uji dengan *ASTM Worked Penetration* dengan angka *NLGI* dan tingkat *consistency*.

Tabel 2. 1 NLGI Grease Classification (NLGI, 1984)

<i>NGLI Number</i>	<i>ASTM Worked Penetration 0.1 mm (3.28 x 10⁻⁴ft) at 25 °C (77 °F)</i>	<i>Consistency</i>
000	445-475	<i>Semifluid</i>
00	400-430	<i>Semifluid</i>
0	355-385	<i>Very Soft</i>
1	310-340	<i>Soft</i>
2	265-295	<i>Common grease</i>
3	220-250	<i>Semihard</i>
4	175-205	<i>Hard</i>
5	130-160	<i>Very Hard</i>
6	85-115	<i>Solid</i>

5) *Contaminants.*

Gemuk pelumas dapat menahan kontaminan padatan agar tidak masuk kebagian permukaan sehingga gemuk pelumas tetap dapat melumasi permukaan dan menjaga keawetan dari permukaan yang bergesekan (Albert, 2008).

6) *Corrosion and rust-resistance*

Gemuk pelumas dapat melindungi komponen yang terbuat dari logam dari serangan bahan kimia, secara alami gemuk pelumas sudah memiliki kemampuan untuk mencegah karat sifat ini tergantung pada *thickener* yang digunakan. Kemampuan gemuk pelumas memberikan perlindungan dari proses kimia berupa pengkaratan dengan adanya *additive* yaitu *corrosion inhibitor* dan *rust inhibitor* (Albert, 2008).

2.1.3 Fungsi gemuk pelumas

Gemuk pelumas berfungsi untuk mengurangi gesekan pada permukaan bagian dua metal yang bergerak. Gemuk pelumas efektif digunakan pada area yang terbuka seperti pada bagian luar dari mesin, persendian mesin. Karena bentuknya yang padat dan mudah melekat pada permukaan maka gemuk pelumas akan tetap bertahan apabila benda kerja yang dilumasi bergerak dan bertempat

pada tempat yang melawan gravitasi bumi, bahkan jika benda kerja yang dilumasi bergerak dengan gaya sentrifugal maka gemuk pelumas akan tetap bertahan. Akan tetapi gemuk pelumas juga harus mampu melumasi pada bagian-bagian seperti *bearing-bearing* pada mesin dengan tanpa menambah kerja dari mesin itu sendiri terutama pada saat *start-up*.

Gemuk pelumas dan pelumas cair walaupun memiliki tujuan yang sama tetapi tidak bisa saling menggantikan. Penerapan dari gemuk pelumas berbeda dengan pelumas cair, gemuk pelumas digunakan pada daerah yang mudah dicapai atau daerah yang tidak praktis jika digunakan pelumas cair. Secara umum gemuk pelumas digunakan pada :

- 1) Mesin yang bekerja tidak periodik atau mesin yang tidak dipakai dalam waktu periode yang lama. hal ini dikarenakan lapisan film pelumas pada gemuk pelumas dapat segera terbentuk (Albert, 1999).
- 2) Mesin yang tidak dapat dicapai oleh pelumasan secara periodik. Gemuk pelumas yang berkualitas tinggi secara relatif dapat mengisolasi komponen mesin yang tidak dapat dicapai oleh pelumas cair. Dengan kata lain penggantian pelumas pada mesin ini sulit untuk dilakukan sehingga untuk periode waktu yang lama sehingga penggunaan gemuk pelumas dapat lebih efektif dibandingkan dengan pelumas cair (Albert, 1999).
- 3) Mesin-mesin yang bekerja pada kondisi operasi temperatur tinggi dan tekanan tinggi. Mesin tersebut bekerja dengan muatan yang berat dengan kecepatan rendah (Albert, 1999).

Berdasarkan sifatnya gemuk pelumas memiliki keunggulan yaitu :

- 1) Berfungsi sebagai *sealant*

Fungsi sebagai *sealant* berarti *grease* dapat mencegah kebocoran dari pelumas atau dapat menghindarkan kontak dengan air dan udara sehingga dapat mencegah proses korosi (Albert, 1999).

- 2) Lebih murah dan efisien dalam penerapan di mesin

Mesin yang memiliki sistem pelumasan dengan pelumas cair membutuhkan sistem untuk sirkulasi. Hal ini akan mempertinggi biaya kerja, sehingga akan lebih mahal dibandingkan sistem yang menggunakan gemuk

pelumas. Sebagai pembanding gemuk pelumas dalam penggunaannya tidak membutuhkan pompa sirkulasi sehingga akan lebih murah (Albert, 1999).

3) Dapat menahan padatan dalam suspensi

Kemampuan dapat menahan padatan dalam bentuk suspensi pelumas menjadi keunggulan gemuk pelumas sehingga dapat ditambahkan *additive* yang akan menaikkan unjuk kerjanya. Sebagai contoh *additive* yang berfungsi sebagai *extreme presure* yaitu *molybdenum disulfide* atau *graphite* (Albert, 1999).

Disamping memiliki beberapa keunggulan gemuk pelumas juga memiliki kelemahan yaitu :

1) Lemah pada siklus pendinginan

Panas yang timbul pada saat terjadi friksi diantara dua metal tidak dapat terbawa melalui siklus konveksi hal ini dikarenakan gemuk pelumas tidak dapat bersirkulasi seperti pelumas cair.

2) Tahan terhadap pergerakan

Disamping keunggulan gemuk pelumas yang dapat bertahan pada benda kerja yang dinamis tetapi hal ini menjadi kelemahan pada penggunaannya dibandingkan pelumas cair terutama jika diaplikasikan terhadap mesin yang berputar pada putaran yang tinggi atau pada mesin dengan torsi rendah.

3) Kesulitan dalam melakukan penggantian dibandingkan pelumas cair.

2.2 Bahan Dasar Gemuk Pelumas

Gemuk pelumas dapat dibuat dari tiga bahan baku yaitu minyak dasar (*base oil*), bahan pengental (*thickener*) dan *additive*. Melalui serangkaian proses maka terbentuklah gemuk pelumas. Proses tersebut adalah tahap pengisian bahan baku, reaksi penyabunan dan proses penyelesaian, proses akan dibahas pada sub bab berikutnya.

2.1.3 Minyak Dasar (*Base Oil*)

Minyak dasar (*base oil*) merupakan komponen utama dari gemuk pelumas yang memiliki fungsi sebagai pelumas itu sendiri yaitu mengurangi gesekan dari dua metal. Komposisi *base oil* dari gemuk pelumas itu adalah 75-90 % dari total

komposisi gemuk pelumas (Dizi, 2008). *Base oil* yang dapat digunakan sebagai pelumas pada gemuk harus memiliki karakteristik tertentu sehingga akan dapat bekerja secara optimal. Untuk gemuk bio *base oil* yang digunakan berasal dari minyak nabati sehingga tujuan dari *biodegradable* itu sendiri menjadi tercapai. Tetapi secara umum base oil selain dari minyak nabati pun dapat digunakan sebagai base oil.

2.1.3.1 Minyak Sawit

Minyak sawit merupakan salah satu jenis dari minyak nabati yang dapat digunakan sebagai base oil pada gemuk bio. Minyak sawit berasal dari tanaman sawit yang diambil buah maupun bijinya. Tanaman sawit (*Elaeis guinensis*) berasal dari Guinea di pesisir Afrika Barat, kemudian diperkenalkan ke bagian Afrika lainnya, Asia Tenggara dan Amerika Latin sepanjang garis equator (antara garis lintang utara 15° dan lintang selatan 12°). Tanaman sawit tumbuh baik pada daerah iklim tropis, dengan suhu antara 24°C - 32°C dengan kelembaban yang tinggi dan curah hujan 200 mm per tahun. Tanaman sawit mengandung kurang lebih 80% perikarp dan 20% buah yang dilapisi kulit yang tipis. Kandungan minyak dalam perikarp sekitar 30% – 40% (Rondang, 2006). Tanaman sawit menghasilkan dua macam minyak yang sangat berlainan sifatnya, yaitu :

1. Minyak sawit (CPO), yaitu minyak yang berasal dari sabut kelapa sawit.
2. Minyak inti sawit (CPKO), yaitu minyak yang berasal dari inti kelapa sawit.

Pada umumnya minyak sawit mengandung lebih banyak asam-asam palmitat, oleat dan linoleat jika dibandingkan dengan minyak inti sawit. Minyak sawit merupakan gliserida yang terdiri dari berbagai asam lemak, sehingga titik lebur dari gliserida tersebut tergantung pada kejenuhan asam lemaknya. Semakin jenuh asam lemaknya semakin tinggi titik lebur dari minyak sawit tersebut (Rondang, 2006).

Tanaman sawit merupakan komoditi andalan bagi Indonesia, volume ekspor minyak sawit hingga tahun 2006 berkisar pada angka 5.989 ribu ton. Dan merupakan pengeksport kedua terbesar di dunia. Kebutuhan domestik untuk minyak sawit juga sangat besar laju pertumbuhan setiap tahunnya untuk tanaman sawit berkisar di angka 10 % pertahun sedangkan laju kebutuhan untuk ekspor

berkisar di angka 13,05 % pertahun . Jika dilihat dari luas dan letak geografis Indonesia yang merupakan daerah tropis maka produksi minyak sawit Indonesia masih dapat ditingkatkan sehingga komoditas ini dapat menjadi andalan disamping industri migas.

Berikut dibawah tabel produksi negara-negara produsen minyak sawit

Tabel 2. 2 Produksi CPO Dunia, (dalam ribuan ton) (Rondang, 2006, hal 34)

No	Negara	2003	2004	2005	2006	Pasar (%)
1	Malaysia	8.386	9.057	8.315	10.553	51.5
2	Indonesia	4.540	5.380	5.640	5.989	29.2
3	Nigeria	600	680	690	720	3.5
4	Columbia	410	441	422	500	2.4
5	Thailand	375	390	370	410	2.0
6	Lainnya	1.9723	1.886	1.243	2.304	11.4

Minyak sawit didapatkan dengan cara mengekstrak buah dan biji kelapa sawit. Minyak yang didapatkan dari daging buah disebut *crude palm oil (CPO)*, sedangkan minyak yang didapatkan dari biji disebut *crude palm kernel Oil (CPKO)*. Minyak sawit dapat dibedakan dari minyak nabati lainnya berdasarkan kandungan gliseridanya yang spesifik dan terdapat dalam jumlah yang seimbang.

Minyak sawit bersifat padat pada suhu kamar, dengan titik cair berkisar antara 40-70 °C, karena minyak sawit mengandung beberapa macam asam lemak yang mempunyai titik cair yang berbeda-beda. Karakteristik dari minyak sawit dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 2. 3 Karakteristik Minyak Sawit (Rondang, 2006, hal. 34)

Karakteristik	Nilai
Specific Gravity pada 37,8 °C	0,898-0,901
Iodine Value	44-58
Saponification Value	195-205
Unsaponification Value, %	< 0.8
Titer, °C	40-47

Crude palm oil dan *palm kernel oil* memiliki perbedaan dalam asam lemaknya. *Crude palm oil* memiliki kandungan asam lemak dominan dengan rantai karbon 12-14. kandungan asam lemak dari *crude palm oil* dan *palm kernel oil* dari berbagai sumber dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2. 4 Komposisi Trigliserida pada Minyak Sawit (Dizi, 2007, hal. 9)

Asam Lemak	Malaysia (%)	Indonesia (%)	Zaire (%)
Miristic	0.5-0.8	0.4-0.8	1.2-2.4
Palmitic	46-51	46-50	41-43
Stearic	2-4	2-4	4-6
Oleic	40-42	38-42	38-40
Linoleic	6-8	6-8	10-11

Minyak sawit dapat digunakan sebagai bahan dasar gemuk pelumas, minyak sawit memiliki beberapa keunggulan tertentu dibandingkan menggunakan minyak mineral. Minyak sawit akan mengalir kebagian yang panas pada sebuah pelat logam yang panas, hal ini tidak terjadi pada minyak mineral, keunggulan ini disebabkan penurunan tegangan permukaan dari minyak sawit karena adanya gradien temperatur pada pelat logam. Hal ini menjadi nilai lebih jika digunakan minyak sawit, dikarenakan akan meningkatkan daya penetrasi dan sifat menyebar (*spreading property*). Disamping itu, minyak sawit mempunyai karakter yang ramah lingkungan hal ini dikarenakan minyak sawit dapat terurai secara alami dan juga dihasilkan dari sumber yang terbaharukan yaitu tumbuhan sawit.

Universitas Indonesia

Tabel 2. 5 Kandungan Trigliserida berdasarkan Asam Lemak (Dizi, 2006, hal. 10)

Asam Lemak	Rumus Molekul	Minyak Kelapa	Crude Palm Oil	Palm Kernel Oil	Tallow (Sapi)	Minyak Kedelai	Minyak Kacang
Kaprilat	$C_6H_{16}O_2$	8	2.5	-	-	-	-
Kaprat	$C_{10}H_{20}O_2$	7	7	-	-	-	-
Laurat	$C_{12}H_{24}O_2$	48	49.6	-	-	-	-
Miristat	$C_{12}H_{28}O_2$	17.5	14.1	1	3	-	95
Palmitat	$C_{16}H_{32}O_2$	8.8	8.8	42.5	29	6.6	-
Stearat	$C_{18}H_{36}O_2$	2	1.3	4	18.5	4.2	-
Oleat	$C_{18}H_{34}O_2$	6	18.5	43	46.5	28	4
Linoleat	$C_{18}H_{32}O_2$	2.5	0.7	9.5	3	52.6	-
Linolenant	$C_{18}H_{30}O_2$	-	-	-	-	8	1

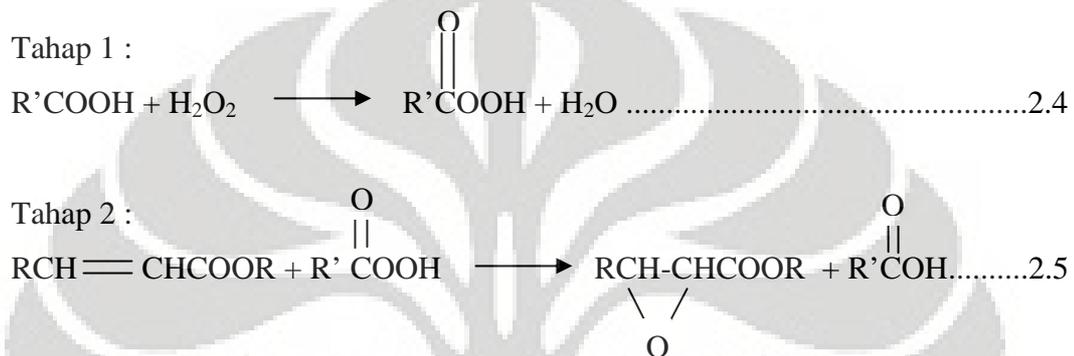
Base oil berfungsi memberikan sifat pelumasan pada gemuk pelumas. Dalam penelitian ini hanya digunakan satu jenis *base oil* yaitu dari minyak nabati. *Base oil* yang akan digunakan sebagai komponen pelumas cair pada gemuk bio adalah minyak hasil epoksidasi dari minyak sawit.

2.1.3.2 Epoksida

Epoksida merupakan salah satu jenis eter (ROR). Eter memiliki ikatan yang mirip dengan air dan bersifat polar. Eter dapat bersifat rantai terbuka maupun 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 dalam eter rantai terbuka). Epoksida mengandung cincin eter beranggota tiga. Epoksida lebih reaktif daripada eter lain karena ukuran cincinnya lebih kecil (Fessenden, 1981)

Reaksi epoksidasi merupakan jenis reaksi yang terjadi pada alkena. Reaksi tersebut menyerang ikatan ganda karbon pada alkena atau pada trigliserida di minyak sawit dan mengubahnya menjadi oksirana / epoksida. Katalis yang

biasanya digunakan adalah katalis asam yaitu *formic acid* dan oksidator yang dipakai adalah *hydrogen peroxide*. Reaksi yang terjadi melalui dua tahap, yaitu reaksi oksidasi asam menjadi asam peroxide oleh *hydrogen peroxide* dan kemudian reaksi epoksidasi alkena oleh asam peroxide. Adapun mekanisme reaksi epoksidasi dapat dilihat pada gambar 2.6 dibawah ini :



Gambar 2. 1 Mekanisme Reaksi Epoksidasi Ester (Dizi, 2007, hal 15)

Pada penelitian sebelumnya reaksi epoksidasi dilakukan setelah base oil telah menjadi POME (*Palm Oil Methyl Ester*) tetapi pada penelitian ini proses epoksidasi langsung dilakukan pada minyak sawit tanpa melalui proses transesterifikasi dengan pertimbangan untuk mempercepat proses produksi gemuk bio.

2.3 Bahan Pengental

Bahan pengental atau *thickener* adalah pembentuk dari gemuk pelumas, *thickener* dapat berasal dari sabun (*soap*) alkali dan alkali tanah atau dapat juga berasal dari bukan sabun (*non soap*) (Dizi, 2007). *Thickener* yang digunakan sangat mempengaruhi kualitas dari pelumas gemuk yang dihasilkan, seperti ketahanan terhadap suhu yang tinggi dan ketahanan terhadap air.

Thickener berfungsi sebagai media penyimpan *base oil* dan berfungsi sebagai sponge. Perbedaan pokok antara gemuk pelumas yang menggunakan *thickener* dari sabun dengan yang menggunakan *thickener* bukan sabun adalah ketika bekerja pada suatu kondisi operasi yang menyebabkan kenaikan temperatur

maka gemuk pelumas yang menggunakan *thickener* sabun akan terjadi perubahan fasa menjadi cair sedangkan gemuk pelumas yang menggunakan *thickener* bukan sabun hanya akan lembek saja.

2.3.1 Sabun Biasa (*Conventional Soap*)

Sabun konvensional adalah sabun yang terbentuk dari hasil reaksi logam alkali atau alkali tanah dengan asam lemak (*fatty acid*). Sabun logam adalah hasil reaksi antara asam lemak ion logam, seperti ion kalsium, litium, natrium, aluminium dan lain-lain, dengan konsentrasi 3-25% (berat). Sabun logam yang terbentuk dari asam stearat secara luas digunakan sebagai hardening agent pada minyak fosil, *mould releasing* pada plastik dan turunan polimer pada proses ekstrusi (Albert, 1999).

Ada dua metoda pembuatan sabun dari minyak alami (nabati dan hewani), yaitu metoda saponifikasi dan netralisasi. Pada proses saponifikasi, minyak dipanaskan dan diaduk kemudian alkali ditambahkan secara perlahan-lahan. Setelah seluruh alkali tercampur, pemanasan dilanjutkan untuk periode tertentu hingga proses saponifikasi berlangsung sempurna. Proses saponifikasi dikatakan sempurna jika sejumlah contoh yang ditambahkan dengan alkohol dengan indikator phenolphthalein menunjukkan warna pink. Selanjutnya dilakukan pemisahan sabun dengan menggunakan natrium klorida dan produk sabun yang diperoleh dikeringkan. Sabun logam yang dapat dipergunakan sebagai *thickener* antara lain :

1) Sabun lithium (*lithium soap*)

Sabun lithium adalah sabun yang didapatkan dari reaksi *lithium hydroxide* dengan asam lemak (*fatty acid*) asam lemak yang digunakan adalah *stearic acid* (*12-Hydroxistearic*) (Albert, 1999). Sabun lithium secara fisik memiliki tekstur yang halus (*smooth*) jika dipergunakan menjadi *thickener* pada gemuk pelumas maka akan didapatkan dropping point berkisar antara (177-204) °C. Sabun ini memiliki kelebihan yaitu *shear stability* yang sangat baik, stabil terhadap pengaruh mekanis, memiliki kinerja yang baik pada suhu yang tinggi, serta memiliki kestabilan oksidasi yang baik. "Kelemahan pada gemuk pelumas yang menggunakan sabun lithium sebagai *thickener*nya adalah ketahanannya terhadap

air tidak sebaik gemuk pelumas dengan *thickener* sabun calsium” (Marius, 2007, hal 19).

2) Sabun kalsium (*Calcium soap*)

Gemuk pelumas yang menggunakan *thickener* sabun kalsium memiliki kelebihan ketahanan terhadap air yang baik^[1]. Perbedaan dengan sabun litium hanya pada logam alkali yang digunakan. Pada sabun jenis ini digunakan *calcium hydroxide* yang direaksikan dengan asam lemak. ”Gemuk pelumas sabun calsium memiliki penstabil ikatan antara sabun dengan *base oil* yaitu air, oleh karena itu kestabilannya sangat bergantung pada kandungan air yang ada didalam kristal-kristal sabun” (Marius, 2007, hal 19).

3) Sabun alumunium (*Aluminium soap*)

”Gemuk pelumas yang menggunakan alumunium sebagai *thickener*nya akan mempunyai bentuk yang sangat lembut, secara visual seperti gel dengan bentuk yang menarik, memiliki tekstur yang sedikit berserabut dengan tingkat serabut yang biasanya tergantung dengan *additivenya*” (Marius, 2007, hal 19).

4) Sabun sodium (*Sodium soap*)

Sabun sodium mempunyai bentuk yang berserat atau halus tergantung dari asam lemak yang digunakan. gemuk pelumas yang menggunakan *thickener* sabun sodium akan memiliki *dropping point* yang lebih tinggi dari pada jika digunakan sabun calsium yaitu pada angka (121-177) °C. ”Kelemahan dari sabun sodium jika digunakan sebagai *thickener* adalah sifatnya yang dapat larut oleh air, sehingga ketahanannya terhadap air sangat tidak baik” (Marius, 2007, hal 19).

2.3.2 Sabun Komplek (*Complex Soap*)

Sabun komplek adalah sabun yang menggunakan *complexing agent*. Tujuan pembuatan sabun kompleks adalah karena kebutuhan akan gemuk pelumas yang dapat bekerja diatas kondisi operasi gemuk pelumas yang menggunakan sabun biasa (*soap complex*). Dengan menggunakan *complexing agent* maka akan ada kenaikan *dropping point* dari gemuk pelumas hingga 38 °C dari pada sabun biasa yang hanya dapat beroperasi pada kondisi temperatur 177 °C (Spagnoli et al, 2005).

Complexing agents dibuat dari garam hasil reaksi logam alkali dengan rantai pendek dari senyawaan asam organik atau asam an organik. Biasanya asam

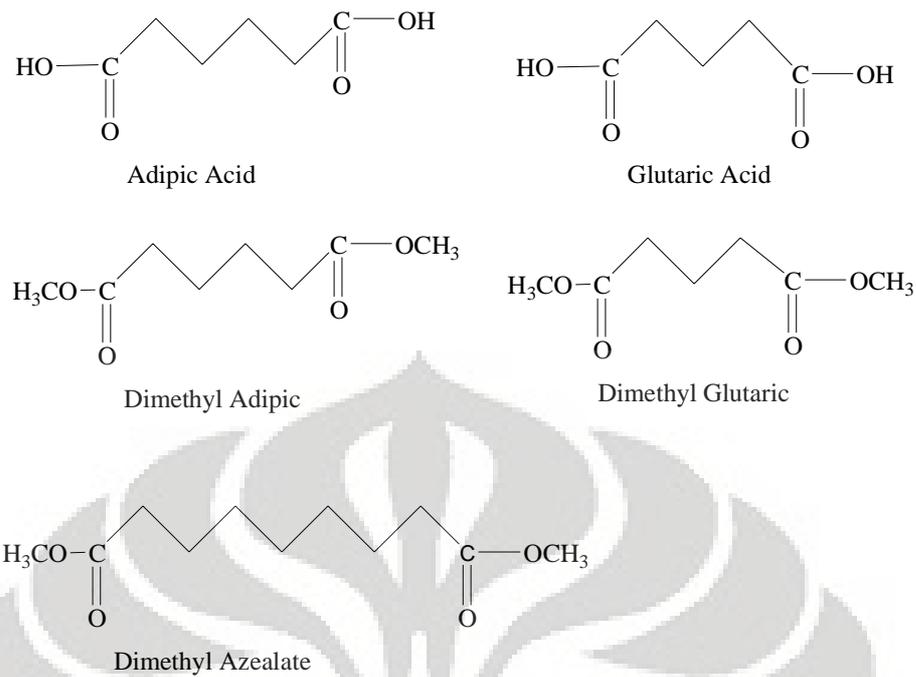
organik yang digunakan adalah asam dikarboksilat yang memiliki rantai C₄-C₁₂. Sedangkan asam anorganik yang digunakan asam-asam karbonat dan asam-asam klorida (Witte, 1984).

Sabun lithium kompleks akan memberikan sifat yang lebih baik dibandingkan dengan sabun *konvensional*, gemuk pelumas yang dihasilkan akan memiliki ketahanan yang baik terhadap kinerja temperatur yang tinggi, serta stabil terhadap pengaruh mekanis yang lebih baik.

Pada setiap sabun *konvensional* dapat dibuat sabun kompleksnya, seperti sabun alumunium, sabun calsiium, sabun barium dan sabun sodium, akan tetapi *complexing agent* yang digunakan tidak sama. Pada sabun alumunium kompleks digunakan asam benzoat sebagai *complexing agent*-nya hasilnya akan didapatkan tekstur gemuk pelumas yang sangat lembut serta memiliki ketahanan terhadap air yang tinggi. Demikian halnya pada sabun calsiium kompleks, sifat-sifatnya lebih yang dimilikinya lebih unggul bila dibandingkan sabun *konvensional*.

Gemuk pelumas terdiri dari *equimolar* bagian dari sabun lithium yang mengandung C₁₂ sampai C₂₂ asam lemak dan garam logam alkali tanah. *Complexing agent* yang ditambahkan sebagai garam divalent berupa sebagai *dry powder* seperti calsiium acetat. Perbandingan antara sabun lithium dengan calsiium asetat berkisar antara 1.2 : 1 sampai 1.7:1 rasio berat. Penambahan *complexing agent* dilakukan distep diawal, bersamaan dengan pelumas gemuk dan asam stearat (Witte, 1984).

Complexing agents yang dipergunakan untuk membuat gemuk pelumas lithium kompleks adalah *asam asetat, dimethyl glutarate, dimethyl adipate, glutaric acid* dan *adipic acid*. Masing – masing dari *complexing agents* akan memberikan hasil uji terhadap *dropping point* yang didapatkan berbeda-beda. Berikut dibawah ini gambar struktur dari *complexing agent* tersebut :



Gambar 2. 2 Struktur dari Ragam *Complexing Agent* (Witte, 1984)

Complexing agent dapat juga merupakan campuran lebih dari satu *complexng agent* misalnya *dimethyl glutarate* 10 % w/w dengan *dimethyl adipate* 90 % w/w atau pencampuran yang lainnya untuk mendapatkan gemuk pelumas dengan *dropping point* tertentu(Witte, 1984).

Dengan penggunaan *complexing agent* sebagai komposisi pada gemuk pelumas akan didapatkan gemuk pelumas dengan kemampuan minimal seperti yang terdapat pada tabel dibawah ini sesuai.

Tabel 2. 6 *Data base* penggunaan ragam *complexing agent* terhadap hasil uji gemuk pelumas^[8]

Complexing Agent	UW D1403 mm/10	60x D1403 mm/10	Penetration split 60X –UW Mm/10	Roltability D1831 Mm/10	Dropping Point D2265 °C
Dimethyl azelate	311	341	30	50	>300
Dimethyl adipate	219	209	-10	28	260
Dimethyl glutarate	335	227	-8	26	246
Dimethyl succianate	235	223	-12	18	208
Dimethyl adipate/dimethyl glutarate (90 % : 10%)	238	234	-4	16	246

Pada penelitian ini sebagai *complexing agent* digunakan asam asetat. Sabun kompleks didapatkan dari dua reaksi yang akan terjadi didalam reaktor. Reaksi pertama yang terjadi yaitu terbentuknya sabun lithium stearat. Kemudian reaksi yang kedua adalah reaksi pembentukan litihum asetat. Ilustrasi mekanisme reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :

2.4 Additive

Gemuk pelumas performanya tidak akan maksimal jika tidak diberi *additive*. *Additive* akan menyempurnakan kinerja dari gemuk pelumas, bahkan *additive* akan menutupi kekurangan yang ada pada gemuk pelumas. Dengan adanya *additive* kemampuan dari sifat alamiah dari pelumas akan meningkat. Sehingga dengan adanya *additive* maka usia pemakaian dari gemuk pelumas menjadi lebih lama disamping kemampuannya untuk melindungi logam yang dilumasi menjadi lebih baik.

Secara umum *additive* adalah senyawa-senyawa yang dapat meningkatkan performa dari gemuk pelumas, dengan adanya *additive* maka gemuk pelumas akan tahan terhadap tekanan yang ekstrem, tahan terhadap oksidasi, tahan terhadap korosi. Dan dapat lebih menjaga keausan dari logam yang dilumasi. Adapun beberapa *additive* yang biasa digunakan adalah *anti oxidant*, *extreme pressure*, *corrosion inhibitor*, *metal deactivator*, *anti wear*.

2.4.1 Anti Oxidant

Anti Oxidant adalah *additive* yang berfungsi mencegah terjadinya oksidasi terhadap molekul-molekul gemuk. Senyawa-senyawa yang dapat digunakan sebagai *anti oxidant* adalah *N-phenyl-1-Naphthalamine*, *Zinc diamyl dithiocarbamate*, *Butylated hidroxytoluene (BHT)*, *Alkylated diphenylamines*. Oksidasi pada gemuk pelumas dapat terjadi pada *lubricating oil (base oil)* dan asam lemak. Akibat proses oksidasi ini maka akan menghasilkan senyawa-senyawa *peroxide*, terutama *hydroperoxide* yang bersifat asam. Dengan adanya asam yang terbentuk maka akan menyebabkan terbentuknya karat pada logam yang dilumasi. *Anti Oxidant*, akan bereaksi dengan senyawa *peroxide* yang terbentuk dan menghasilkan suatu *inhibitor radical*, dimana *inhibitor radical* ini tidak dapat bereaksi lagi, baik dengan *oxygen* maupun molekul-molekul gemuk (Dizi, 2007).

Anti Oxidant juga dapat disebut *Oxidation inhibitors*. Kelamaan molekul-molekul gemuk dapat bereaksi dengan oksigen bebas, reaksi tersebut akan

membentuk asam, lumpur (*sludge*), dan lapisan tipis (*deposit*) yang dapat merusak bagian dari logam. Pada temperatur yang rendah proses ini berjalan lambat tetapi pada temperature yang tinggi maka laju oksidasi akan meningkat bahkan dapat menjadi dua kalinya. *Oxidation inhibitors* akan mengurangi jumlah *oxygen* yang bereaksi dengan *lubricating oil*.

2.4.2 *Extreme Pressure*

"*Extreme pressure (EP)* adalah *additive* yang dapat mencegah keausan yang terjadi pada saat terjadi beban yang berat diakibatkan tekanan yang ekstrim" (Albert, 1999, hal. 50). *Extreme pressure* membentuk suatu lapisan film pada logam yang dilumasi menjadi sangat keras (*solid friction*) sehingga mencegah keausan. Keausan yang terjadi pada suatu peralatan dapat dibagi menjadi tiga tipe yaitu :

1) *Abrasive wear*

Adalah keausan yang disebabkan oleh karena adanya gesekan antara permukaan logam suatu peralatan dengan *abrasive contaminant* (unsur lain yang sifatnya dapat menggores misalnya : debu dan partikel logam).

2) *Corrosive wear*

Adalah keausan yang disebabkan karena adanya pengaruh senyawa-senyawa asam terhadap permukaan logam suatu peralatan.

3) *Adhesive wear*

Adalah keausan yang disebabkan oleh karena adanya metal to metal contact antara permukaan logam yang bergerak.

Senyawa-senyawa *additive extreme pressure* diantaranya adalah *lead oleat*, *graphite*, *molybdenum disulfide*, *Polytetraflouroethylene*, *Molybdenum oxysulfide*, *Triphenyl phosphorothionate*, dan *sulfurized esters*.

2.4.3 *Corrosion Inhibitor*

Corrosion inhibitor adalah *additive* yang dapat melindungi permukaan peralatan yang terbuat dari bahan bukan metal (*non ferrous metal*), terhadap pengaruh senyawa asam untuk menghindari terjadinya korosi (Albert,1999, hal.

56). Mekanisme kerja *additive* di dalam gemuk pelumas adalah bereaksi dengan peralatan bukan metal sehingga membentuk lapisan yang tahan terhadap korosi yang melekat kuat pada permukaan logam tersebut sehingga lapisan tersebut akan menghalangi logam dengan oksigen dan senyawa asam yang terbentuk akibat oksidasi *lubricating oil (base oil)* atau asam lemak. Contoh *additivenya* adalah *Nalzin 2277*, dan *sodium nitrite*.

2.4.4 *Metal Deactivator*

Memiliki fungsi yang hampir sama dengan anti oxidant, namun mekanisme kerjanya berbeda. Terjadinya oksidasi dapat dipercepat oleh logam-logam seperti tembaga, besi dan lain-lain, karena logam-logam tersebut bertindak sebagai katalisator. *Metal deactivator additive* akan bereaksi dengan permukaan logam yang dilumasi sehingga membuat logam-logam yang bertindak menjadi katalisator tersebut menjadi tidak aktif, sehingga oksidasi bisa dicegah. Contoh *additive* yang bertindak sebagai metal deactivator adalah *heterocyclic sulfur-nitrogen compound*.

2.4.5 *Anti Wear*

Anti wear adalah *additive* yang berfungsi untuk mengurangi gesekan terutama ketika mesin baru dijalankan, karena anti wear membuat lapisan film pada permukaan logam dan dapat menahan pelumas sehingga tidak lepas ikatannya dengan logam yang dilumasi contoh senyawa yang tergolong *additive anti wear* adalah *alkyl derivative of 2-5 di mercapte 1-3-4 thiadiazol*.

2.5 Proses Pembuatan Gemuk Bio Lithium Kompleks

Proses produksi gemuk pelumas dapat dilakukan dengan cara *batch* maupun *continous*, pada penelitian ini proses pembuatan gemuk pelumas dilakukan dengan cara *batch*. Proses batch adalah proses dimana tahapan-tahapan pembuatan gemuk pelumas dilakukan dengan tahap – tahap yang terpisah, setiap bahan baku yang dimasukkan harus diproses dahulu menjadi produk jadi dalam waktu tertentu. Sebelum bahan-baku seluruhnya menjadi produk jadi maka kita

tidak dapat memasukan bahan baku selanjutnya untuk proses batch berikutnya. Sedangkan proses kontinu maka bahan baku tidak henti-henti dialirkan menuju reactor karena pada waktu itu juga akan dihasilkan produk gemuk pelumas.

Banyak metode yang dapat digunakan dalam memproduksi gemuk pelumas dengan *thickener* sabun. Dalam penelitian ini akan dibahas proses pembuatan gemuk pelumas dengan thickener sabun lithium kompleks.

Tahapan-tahapan proses pembuatan gemuk pelumas lithium kompleks akan disajikan pada sub bab berikut:

2.5.1 Pengisian Bahan Baku

Pada tahap ini bahan baku yaitu pelumas cair dan asam lemak yaitu *12-hydroxystearat* yang sudah ditimbang sesuai dengan formula dimasukan kedalam reaktor berpengaduk dan reaktor diset pada temperatur 120 °C. *Base oil* hasil epoksidasi minyak sawit yang dimasukan kedalam reaktor diharapkan memiliki viscositas 105 cst pada 40 °C. Setelah dua bahan tersebut teraduk rata maka dimasukan garam lithium yaitu dalam bentuk *lithium hydroxide* pada temperatur 120 °C. Kemudian dimasukan pula *complexing agent* yaitu asam asetat dan air setelah itu reaktor diset pada suhu 160 °C.



Gambar 2. 5 Reaktor Gemuk Bio *Autoclave*

2.5.2 Reaksi Penyabunan

Setelah dimasukan alkali berupa garam lithium kedalam reaktor yang sudah terdapat asam lemak maka akan terjadi reaksi penyabunan. Agar reaksi penyabunan berjalan dengan sempurna maka reaktor harus disetting pada temperatur $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan tekanan 3 – 6 bar. Didalam reaktor derajat keasaman dari reaksi juga diset pada suasana basa. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kesempurnaan reaksi penyabunan dalam reaktor faktor-faktor tersebut adalah :

1) Suhu

Makin tinggi suhu proses, maka makin cepat dan sempurna reaksi penyabunan. Agar reaksi berjalan dengan cepat dan sempurna maka diperlukan pemanasan. Pemanasan pada reaktor ini didapatkan dari mantel yang berisi minyak yang telah dipanaskan oleh *heater*.

2) Konsentrasi Bahan.

Semakin tinggi konsentrasinya, maka semakin cepat berlangsungnya reaksi penyabunan. Kecepatan reaksi penyabunan akan menurun sejalan dengan menurunnya konsentrasi bahan, artinya pada mulanya reaksi berlangsung cepat kemudian lambat laun reaksi akan berjalan melambat seiring dengan berkurangnya konsentrasi bahan karena telah bereaksi.

3) Kekuatan alkali

Makin kuat sifat alkali yang digunakan, maka semakin cepat berlangsungnya reaksi penyabunan.

4) Komposisi asam lemak

Semakin banyak kandungan asam lemak yang tidak jenuh maka reaksi penyabunan akan berlangsung cepat dan sempurna.

5) Kerapatan hubungan antar bahan.

Kerapatan hubungan antara bahan dipengaruhi oleh baik atau tidaknya pengadukan. Semakin bagus mixer pada reaktor maka antar bahan akan lebih sering bertumbukan sehingga dengan semakin seringnya bahan-bahan tersebut bertumbukan maka reaksi yang terjadi akan semakin sempurna. Karena kesempatan bereaksi akan semakin sering.

2.5.2.1 Penyebaran Awal

Penyebaran awal adalah proses penyebaran pelumas cair kedalam kisi-kisi dari sabun. Dimana akan terjadi proses adsorpsi, pada proses ini akan ditandai dengan penurunan kinerja dari pengaduk karena kerjanya akan semakin berat. Dalam hal ini molekul-molekul sabun dengan pelumas cair akan saling berikatan. Pada mulanya pelumas cair hanya berfungsi sebagai pelarut asam lemak, *complexing agent* dan lithium saja. Tetapi ketika telah terjadi reaksi penyabunan, maka akan keluar kristal-kristal sabun keluar ke atas permukaan, agar kristal-kristal padat sabun menjadi pecah maka kecepatan pengaduk haruslah ditambah. Dengan pecahnya kristal-kristal sabun tersebut maka diharapkan proses dispersi pelumas cair akan semakin mudah karena luas permukaan kontak menjadi lebih luas.

2.5.2.2 Penghilangan Air

Air dan udara harus dihilangkan dari sabun lithium kompleks, karena dengan adanya air maka akan mempengaruhi gemuk pelumas yang diproduksi. Air berasal dari garam lithium yang ditambahkan pada reaksi penyabunan, karena garam lithium selalu akan berikatan dengan air ($\text{LiOH}\cdot x\text{H}_2\text{O}$). Air juga dapat berasal ketika proses reaksi penyabunan yang sengaja ditambahkan dengan tujuan mempermudah proses reaksi.

Penghilangan air dan udara dapat dilakukan dengan membuka *valve* tutup reaktor, air akan keluar sebagai uap air. Prosesnya harus dilakukan dengan perlahan-lahan karena mempertimbangkan unsur *safety*.

2.5.2.3 Penyebaran Akhir

Pada prinsipnya tahapan proses ini adalah proses penyebaran sabun kedalam pelumas cair dari bentuk semula (proses penyebaran sabun yang sebelumnya dilakukan di reaktor), menjadi bentuk yang lebih halus dan homogen. Tahap proses ini terdiri atas langkah-langkah sebagai berikut:

- 1) Penambahan pelumas cair (*base oil*)

Setelah proses penyabunan proses selesai, semua sabun dipindahkan dari contactor ke dalam *kettle*. Kemudian ke dalam *kettle* diisikan sisa jumlah pelumas cair yang harus ditambahkan sesuai dengan formula.

- 2) Pengadukan

Setelah sabun dan pelumas cair di dalam *kettle*, terus dilakukan pengadukan agar partikel-partikel sabun menyebar dan terikat (penyerapan permukaan) dengan merata keseluruh pelumas cair. Proses pengadukan semi gemuk ini dilakukan pada suhu yang tinggi agar proses penyebaran sabun dapat berjalan dengan baik dan merata.



Gambar 2. 6 *Cristalizator Gemuk Bio*

2.5.2.4 Penghilangan Air dan Udara

Proses ini dilakukan dengan menggunakan alat yang disebut *stage ejector* (*dearator*), yang bekerja dengan cara menghisap udara yang ada di dalam *kettle* sehingga tekanan dalam *kettle* menjadi *vacuum*. Tujuan proses ini adalah untuk menghilangkan kandungan air dan gelembung-gelembung udara yang mungkin masih ada, agar gemuk pelumas yang dihasilkan benar-benar tidak mengandung air dan udara.

2.5.2.5 Pendinginan

Di dalam skala pabrik dilengkapi dengan alat pendingin, yang disirkulasikan melalui dinding *kettle*, pada penelitian ini proses pendinginannya dilakukan dengan menurunkan temperaturnya hingga mencapai 82 °C, dan menurunkan kecepatan pengaduknya.

2.5.3 Homogenisasi

Proses sirkulasi gemuk pelumas melalui suatu alat yang disebut *homogenizer* sehingga gemuk pelumas yang dihasilkan jauh lebih halus. Pada proses ini setelah proses pengadukan di *kettle* berjalan kurang lebih 15 menit, dimana ikatan antara sabun dengan pelumas cair telah stabil, selanjutnya dilakukan proses homogenisasi sebanyak 2 kali putaran sehingga struktur gemuk pelumas yang diperoleh jauh lebih mantap, dan lebih halus, serta homogen.



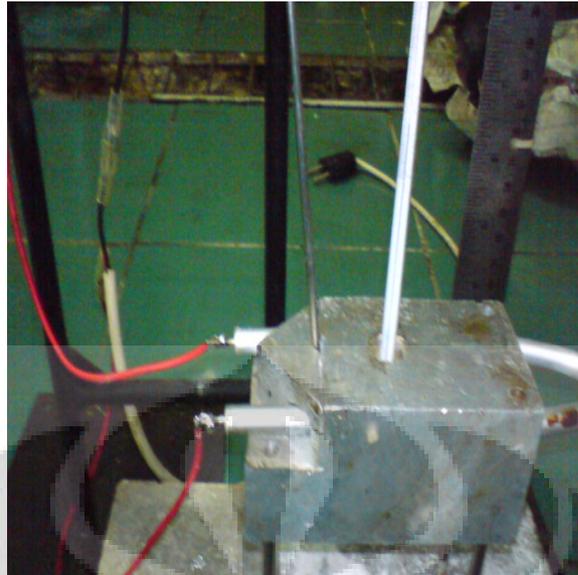
Gambar 2. 7 Homogenizer Gemuk Bio

2.6 Parameter Uji Gemuk Pelumas

Gemuk pelumas yang diperoleh harus memiliki kestabilan dalam kualitas, oleh karena itu harus dilakukan beberapa pengujian yang menentukan kualitas dari gemuk pelumas itu sendiri. Kualitas dari gemuk pelumas ditentukan dari beberapa parameter uji. Jenis dan jumlah penebal (*thickener*) serta viskositas pelumas menentukan sifat gemuk pelumas yang terbentuk, warna dan tekstur, diteliti secara visual, ketentuan mutu gemuk pelumas ditentukan berdasarkan uji mekanis yaitu :

2.6.1 *Dropping Point*

Dropping point adalah titik suhu dimana pada titik tersebut gemuk pelumas mulai mencair, semakin tinggi nilai *dropping point* maka kualitas dari gemuk pelumas menjadi semakin baik. Nilai *dropping point* akan menunjukkan kinerja dari suatu gemuk pelumas.



Gambar 2. 8 *Dropping Point Tester*

2.6.2 *Consistency*

Consistency adalah suatu keadaan yang menunjukkan kekerasan atau kelunakan suatu gemuk pelumas. Kepadatan suatu gemuk pelumas dinyatakan dengan “angka penetrasi”, dimana penetapannya dilakukan dengan menggunakan alat yang disebut “*penetrometer*”. Angka penetrasi adalah suatu angka dalam satuan 0.1 mm, yang menyatakan kedalaman menembusnya “*penetrator cone*” ke dalam contoh pelumas gemuk yang diuji. Pengujian dilakukan dalam dua macam cara :

1) *Unworked Penetration*

Dimana angka penetrasi yang didapatkan merupakan keadaan asli dari pelumas gemuk tanpa adanya perlakuan usaha (ditekan atau dikocok).

2) *Worked Penetration*

Terhadap contoh yang diuji terlebih dahulu diberikan usaha (ditekan atau dikocok) dengan menggunakan alat yang disebut “*grease worker*”, sebanyak 0, 60, dan 1000 langkah. Angka penetrasi yang didapatkan memberikan gambaran mengenai tentang keadaan gemuk pelumas pada pemakaiannya nanti. Umumnya *worked penetration* lebih tinggi (lebih lembek) daripada *unworked penetration*.



Gambar 2. 9 *Penetration Tester*

2.6.3 *Four Ball Test*

Four ball test adalah suatu parameter uji gemuk pelumas yang menunjukkan performa gemuk pelumas terhadap kemampuannya menjaga keausan dari logam yang akan dilumasi. Kondisi pelumasan pada metode ini adalah pelumasan batas, dimana terjadi kontak antar logam dengan adanya beban dan putaran. Secara garis besar, alat ini terdiri dari empat buah bola, tiga bola berada dibawah dan satu bola berada diatas, bola-bola tersebut memiliki ukuran yang seragam dan direndam oleh gemuk pelumas yang akan diuji. Bola yang terletak diatas berputar dengan putaran antara 600 rpm sampai 1800 rpm dengan beban dari 0,1 kg sampai dengan 50 kg, sedangkan ketiga bola yang lain yang terletak diatas dipasang secara statis.

Setelah *running* selama selang waktu tertentu maka akan terdapat luka pada bola. Luka inilah yang dijadikan bahan analisis untuk mengetahui seberapa baik performa pelumas yang diuji dalam menahan friksi atau keausan. Analisis terhadap luka dapat dilakukan dengan cara menimbang massa bola sebelum dan sesudah *running*, cara yang lain yang dapat dilakukan adalah dengan cara memfoto dengan *Scanning electron microscopy* (SEM). Luka pada bola ini tergantung dari berat beban, kecepatan putaran, lamanya pengujian, dan kualitas

dari pelumas yang diuji.



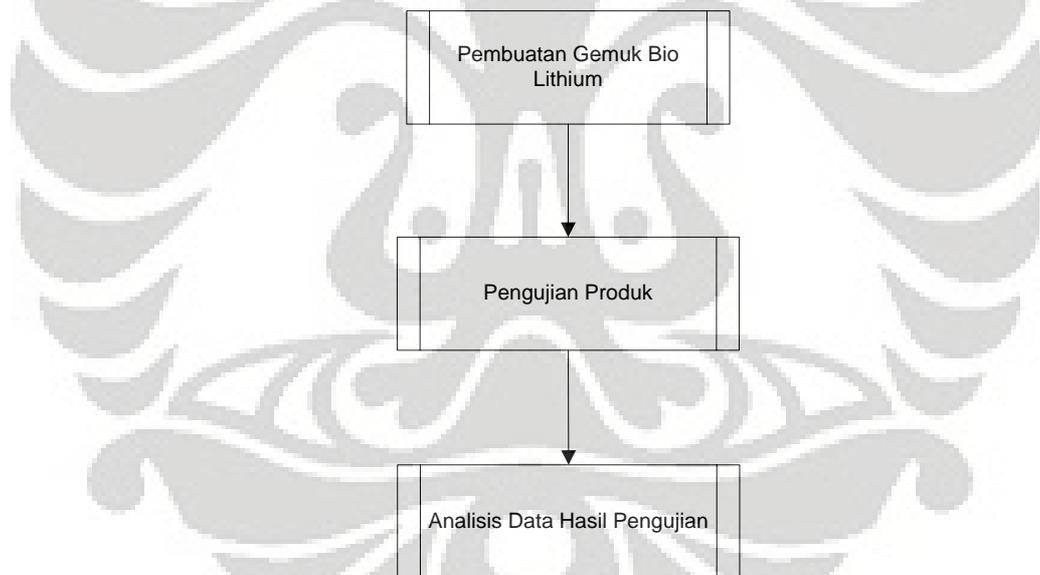
Gambar 2. 10 *Four Ball Tester*

BAB 3 METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian yang dilakukan pada penelitian ini bertujuan untuk menetapkan langkah-langkah yang akan ditempuh untuk mencapai tujuan dari penelitian. Metodologi penelitian yang dilakukan dibagi menjadi tiga pokok utama yaitu proses pembuatan gemuk pelumas, pengujian produk dan analisa pengujian produk.

3.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut ini diagram alir penelitian yang dilakukan :



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Bahan dan Peralatan

Untuk percobaan ini diperlukan bahan-bahan dan peralatan sebagai berikut

1) Bahan :

- Pelumas cair (*Base Oil*) : Minyak Hasil Epoksidasi
- *Thickening agent* : LiOH.H₂O dan *12 Hydroxy Stearic acid*

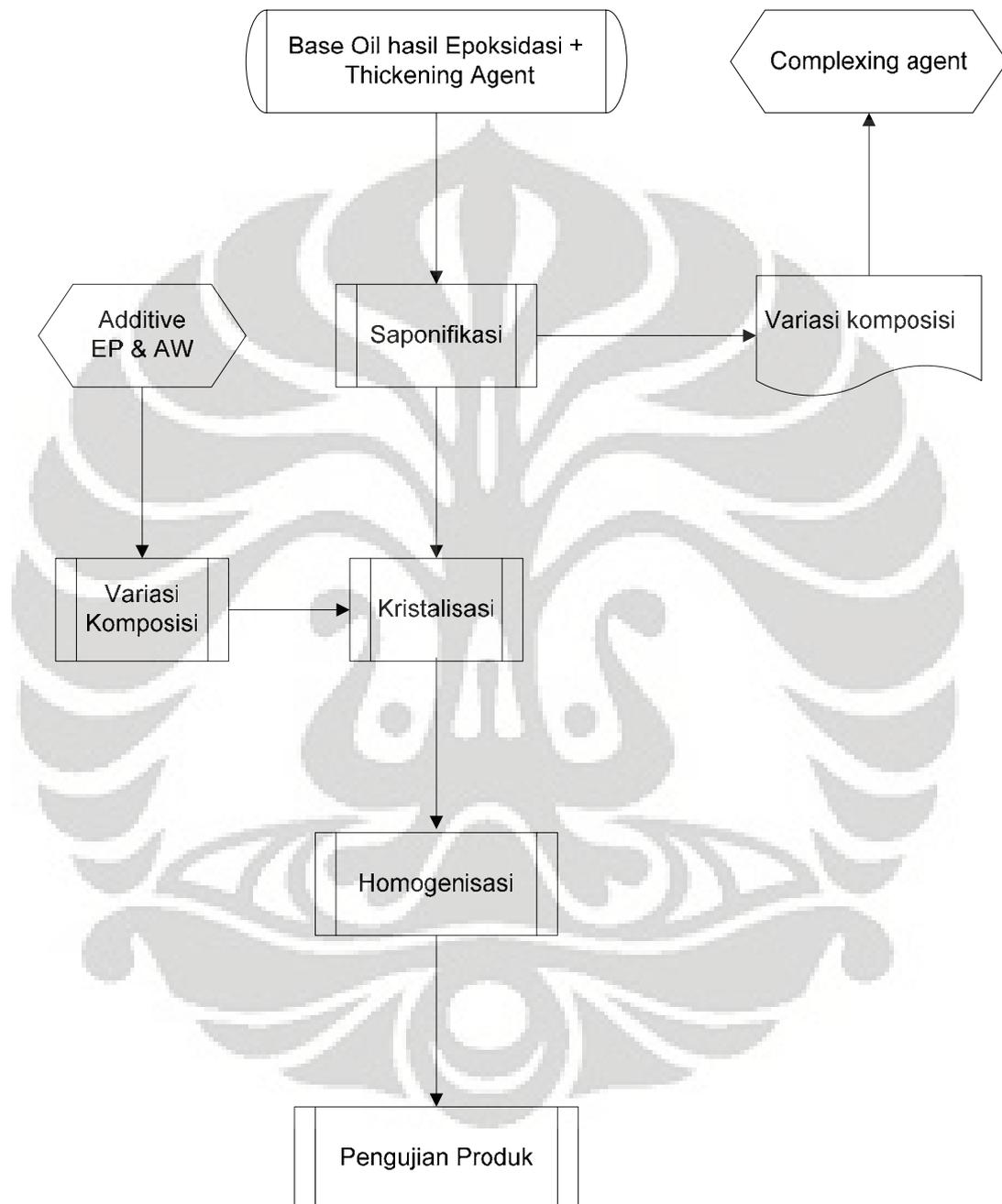
- *Complexing agent* : Asam Asetat
- 2) Peralatan :
- Reaktor / *Kettle* berpengaduk : 1 unit
 - *Crystalizer* : 1 unit
 - *Homogenizer* : 1 unit

3.3 Prosedur Pembuatan Gemuk Pelumas

Prinsip pembuatan gemuk pelumas secara umum :

- 1) Menentukan komposisi gemuk : perbandingan antara *base oil*, *thickener*, *complexing agent* dan *additive*.
- 2) Mereaksikan antara bahan baku (*raw material*) dengan urutan-urutan tertentu. Berupa reaksi *saponifikasi*.
- 3) Proses pendinginan : dimana akan terbentuk gemuk pelumas yang masih kasar.
- 4) Homogenisasi : proses menghomogenkan baik secara komposisi maupun ukuran partikel.

Diagram proses pembuatan :



Gambar 3. 2 Diagram Alir Pembuatan Gemuk Pelumas

Adapun prosedur pembuatan gemuk pelumas pada percobaan ini adalah :

- 1) Dalam Reaktor tertutup

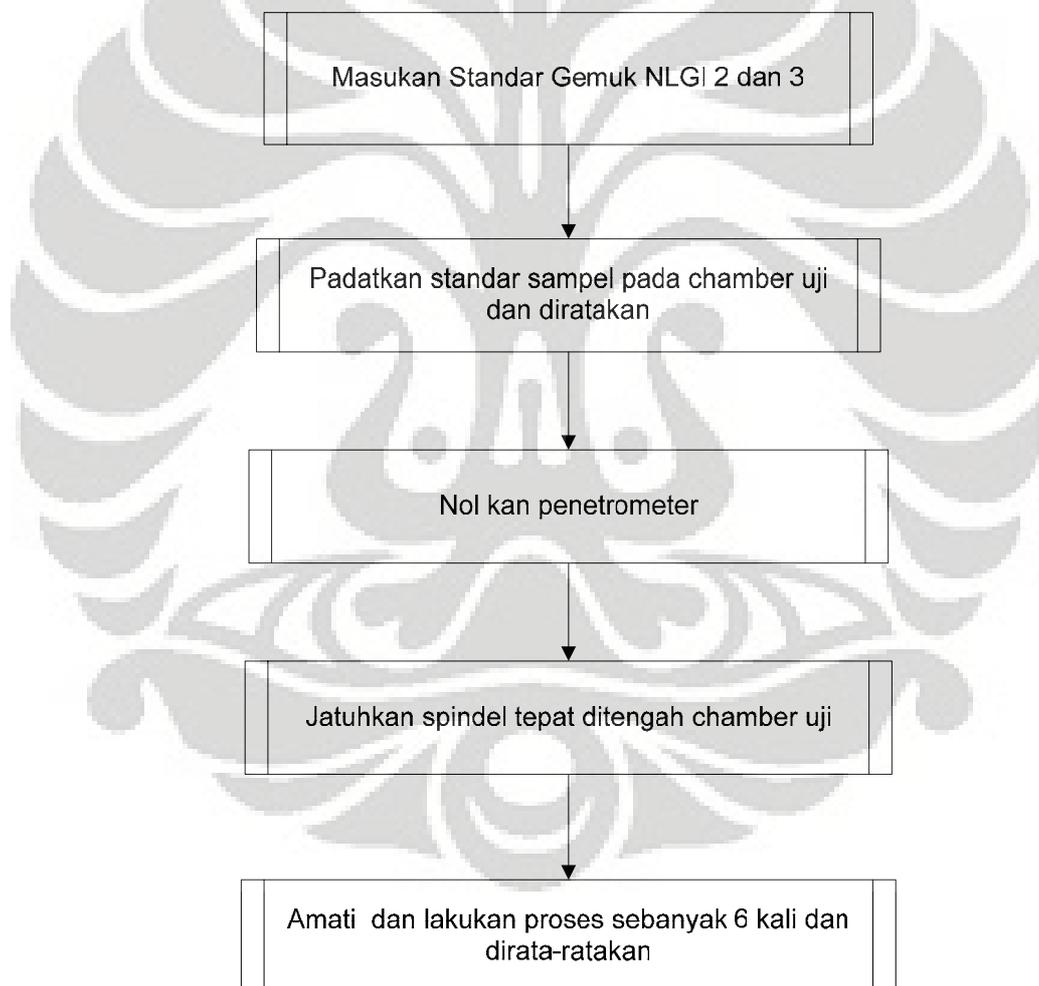
- Dimasukan pelumas cair (*base oil*) sebanyak 80 % w/w dari total bobot gemuk pada suhu 25 °C.
 - Dimasukan *12-Hydroxistearicacid* 14,7 % w/w dari total bobot gemuk pada suhu 70 – 80 °C dan pengadukan dipercepat.
 - Dimasukan Lithium Hydroxide sebanyak 2 – 3 % dari total bobot gemuk pada suhu 110 – 130 °C.
 - Dimasukan *boric acid* sebanyak 0,5 % dari total bobot gemuk pada suhu yang sama.
 - Dimasukan aquades sebanyak 2 % dari total bobot gemuk setelah memasukan lithium hydroxide.
 - Dimasukan *acetic acid glacial* dan lithium hydroxide untuk complexing agent sebanyak 1 - 5 % per bobot total gemuk.
 - Dilakukan pengadukan dan pemanasan pada temperatur 160 °C tekanan 3 – 6 bar. Reaksi saponifikasi ini dilakukan selama 1 jam
 - Di set suhu reaktor pada suhu 200 °C dan ketika proses telah sampai pada suhu tersebut maka dipertahankan selama 15 menit lalu suhu proses diturunkan dengan mematikan heater.
 - Setelah terjadi reaksi saponifikasi lalu diblowdown kedalam *crystalized*.
- 2) Dalam *Crystalized*
- Dilakukan pengadukan dan penghilangan air dan udara.
 - Ditambahkan kembali base oil sehingga menjadi 100 % berat, yaitu sebanyak 5 % berat.
 - Ditambahkan additive sebanyak 0,5 – 2 % dari total gemuk.
 - Diaduk sampai temperatur proses sama dengan temperatur kamar.
 - Dipindahkan gemuk pelumas ke unit *Homogenizer*.
- 3) Dalam Unit Homogenizer.
- Dilakukan penggilingan sehingga gemuk pelumas menjadi homogen.

3.4 Pengujian Gemuk Pelumas

Prosedur pengujian yang dilakukan adalah untuk menjaga kualitas dari gemuk pelumas yang diproduksi dan karakteristik dari gemuk pelumas yang telah dibuat, yaitu :

3.4.1 *Penetration* (ASTM D-217)

Analisa penetrasi dari gemuk pelumas menggunakan alat penetrometer. Sebelum dilakukan pengujian alat tersebut dikalibrasi terlebih dahulu. Berikut prosedur kalibrasi penetrometer.



Gambar 3. 3 Diagram Kalibrasi Penetrometer (Dizi, 2007, hal.40)

Adapun prosedur uji penetration adalah sebagai berikut :

- 1) Unworked penetration
 - Ditempatkan kedalam cup penguji sejumlah gemuk pelumas yang dibuat.
 - Ditempatkannya gemuk pelumas yang diuji tanpa adanya perlakuan baik itu ditekan maupun dikocok.
- 2) Worked penetration
 - Diberikan gaya (dikocok atau ditekan) dengan alat ”*grease worker*” sebanyak 0.6 dan 1000 langkah. gemuk pelumas yang akan diuji sebelum ditempatkan di dalam cup penguji.
 - Ditaruh kedalam cup penguji sejumlah sampel gemuk pelumas yang akan diuji.
 - Dilakukan pengujian.

3.4.2 *Dropping Point (ASTM D-566)*

Prosedur analisa *dropping point* dari gemuk pelumas yang dibuat adalah sebagai berikut :

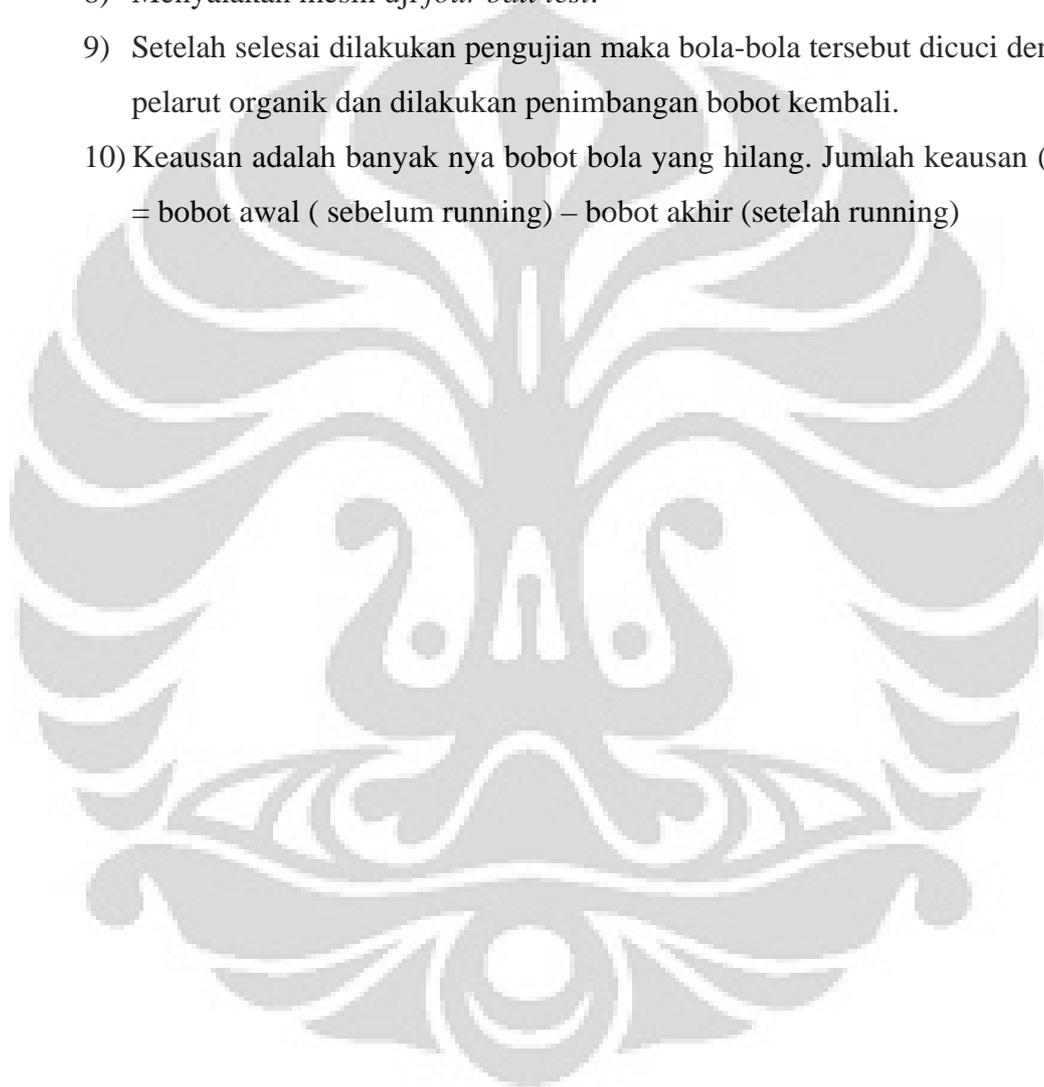
- 1) Dibersihkan cup penguji dan termometer dari kotoran sisa hasil pengujian.
- 2) Dimasukan gemuk pelumas, dan dipadatkan pada dinding cup dengan menggunakan batangan pematik.
- 3) Dimasukan termometer sehingga menyentuh gemuk pelumas.
- 4) Perangkat tersebut diletakan pada bejana yang memiliki pemanas silicon.
- 5) Temperatur dinaikan dan catat pada temperatur berapa gemuk pelumas mulai menetes.

3.4.3 *Four Ball Test (ASTM D-4172)*

Prosedur untuk menguji keausan sebagai fungsi dari gemuk pelumas dapat dilakukan dengan metode *four ball test* adapun prosedur pengerjaannya adalah sebagai berikut :

- 1) Alat four ball test dibersihkan dengan pelarut organik.
- 2) Dicuci empat bola uji dengan pelarut organik dan dikeringkan dengan pengering udara.
- 3) Ditimbang bobot keempat bola tersebut.

- 4) Memasang keempat bola pada alat dengan tiga bola dibawah dan satu bola berada diatasnya pada bagian yang berputar.
- 5) Gemuk pelumas yang akan diuji diisikan pada alat *four ball test* sampai area kontak keempat bola terendam (± 2.5 ml).
- 6) Mengencangkan alat tersebut dengan tang dan kunci yang sesuai.
- 7) Memasang beban dan putaran di setting pada 1150 rpm.
- 8) Menyalakan mesin uji *four ball test*.
- 9) Setelah selesai dilakukan pengujian maka bola-bola tersebut dicuci dengan pelarut organik dan dilakukan penimbangan bobot kembali.
- 10) Keausan adalah banyak nya bobot bola yang hilang. Jumlah keausan (mg)
= bobot awal (sebelum running) – bobot akhir (setelah running)



BAB 4 PEMBAHASAN

4.1 GEMUK BIO LITHIUM KOMPLEK

Hasil percobaan pembuatan gemuk lithium kompleks disajikan pada sub bab – sub bab dibawah ini. Secara umum gemuk bio yang berhasil dibuat memiliki aroma seperti minyak kelapa tetapi karena *complexing agent* yang digunakan adalah asam asetat maka masih didapatkan beberapa *batch* yang memiliki aroma asam.



Gambar 4. 1 Gemuk Bio Lithium Komplek

4.1.1 Hasil Pengamatan Visual Warna dan Bentuk Sabun Lithium Komplek

Berikut ini dibawah merupakan hasil dan pembahasan dari penelitian ini disajikan dengan tabel hasil pengamatan visual pada percobaan digunakan 15 % *thickener* yaitu sabun lithium dengan menggunakan *complexing agent* asam asetat dengan divariasikan persen komposisinya :

Tabel 4. 1 Hasil Pengamatan Visual terhadap Produk Gemuk Bio Lithium

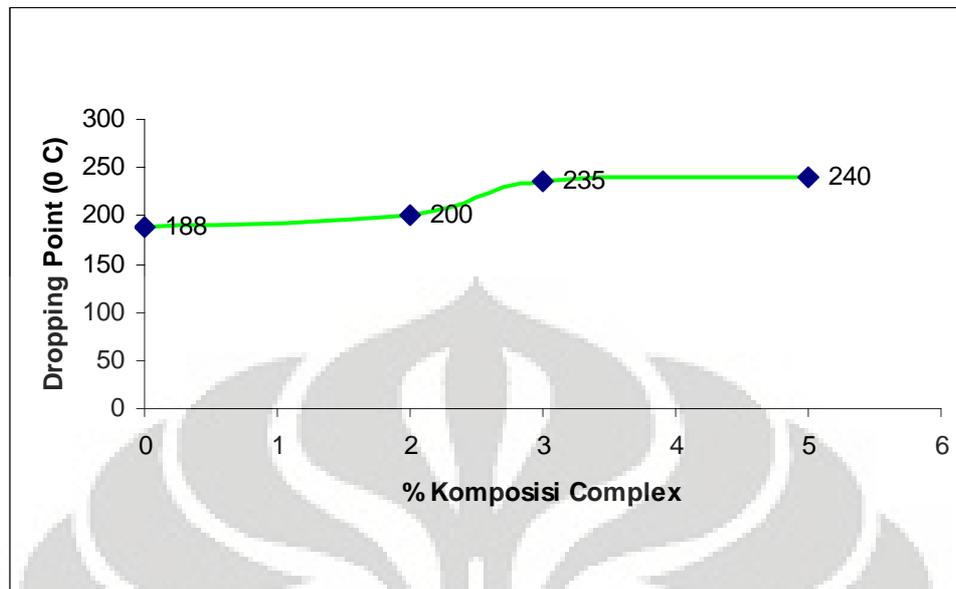
No	<i>complexing agent</i> (%)	Warna
1	0	Putih kekuningan
2	2	Putih agak coklat
3	3	Putih agak coklat
4	5	Agak coklat

Dapat dilihat dengan semakin banyak komposisi *complexing agent* pada gemuk pelumas maka akan menjadikan warna gemuk semakin coklat. Hal ini adalah efek dari penambahan asam asetat sebagai *complexing agent* pada gemuk pelumas tersebut.

4.1.2 Pengaruh *Complexing Agent* Terhadap *Dropping Point*

Dengan adanya *complexing agent* secara teori akan meningkatkan angka *dropping point*. Hal ini disebabkan struktur gemuk akan menjadi lebih kompleks atau hal ini terjadi dikarenakan terdapat reaksi lain yaitu reaksi antara *lithium hydroxide* dengan asam asetat yang membentuk lithium asetat. Dengan adanya lithium asetat maka energi kalor yang dibutuhkan untuk mencairkan gemuk menjadi lebih besar. Teori tersebut dibuktikan dengan adanya peningkatan *dropping point* seiring dengan bertambahnya komposisi *complexing agent*.

Hasil tabel di atas disajikan dengan bentuk grafik pada gambar dibawah ini .



Gambar 4. 2 Perbandingan Perolehan *Dropping Point* dengan Persen Penambahan *Complexing Agent*

Dengan melihat pada tabel dan hasil visualisasi pada grafik maka akan terlihat kecenderungan bahwa semakin tinggi komposisi *complexing agent* maka hasil uji dropping point akan semakin tinggi. Hal ini disebabkan *complexing agent* akan membentuk struktur sabun yang lebih kuat dibandingkan sabun konvensional. *Dropping point* yang tinggi akan menjadi parameter bahwa gemuk pelumas tersebut memiliki kemampuan melumasi yang lebih baik jika digunakan pada kondisi operasi pada suhu tinggi karena pada suhu tinggi gemuk pelumas tersebut belum mencair.

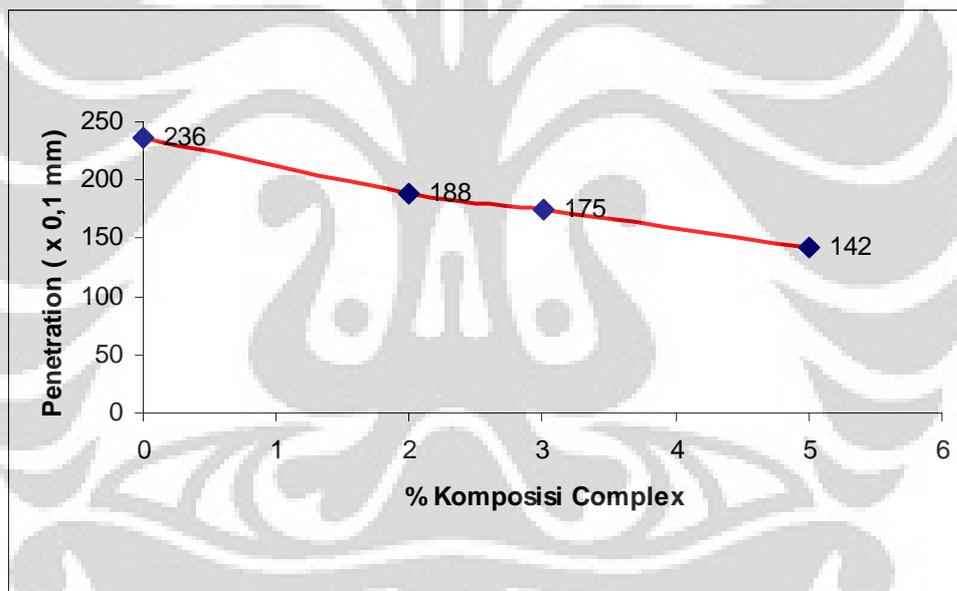
4.1.3 Pengaruh *Complexing Agent* Terhadap Uji *Penetration*

Pengaruh *complexing agent* terhadap uji *penetration* disajikan pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. 2 Hasil Uji *Penetration* ASTM D-217

No	<i>Complex</i> (%)	<i>Penetration</i> ASTM D-217	NGLI	<i>Consistency</i>
1	0	236	3	<i>semi hard</i>
2	2	188	4	<i>hard</i>
3	3	175	4	<i>hard</i>
4	5	142	5	<i>very hard</i>

Disajikan dengan grafik



Gambar 4. 3 Perolehan Nilai *Penetration* Test dengan Bertambahnya Persen Komposisi *Complexing Agent*

Hasil uji *penetration* menyajikan penurunan angka *penetration* seiring dengan banyaknya komposisi *complexing agent*. Hal ini disebabkan semakin banyaknya *complexing agent* yang terdapat pada gemuk pelumas maka akan menyebabkan stuktur gemuk pelumas menjadi lebih *complex* dan akhirnya akan menyebabkan kenaikan kekerasan.

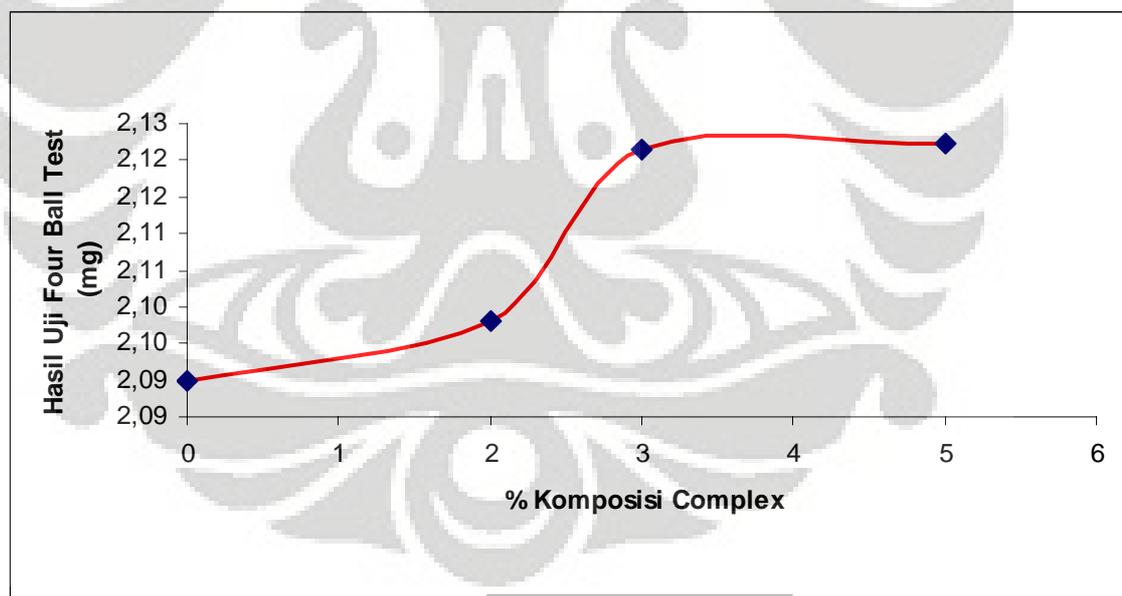
4.1.4 Pengaruh *Complexing Agent* Terhadap Uji *Four Ball Test*

Uji *Four Ball Test* adalah uji untuk mengetahui performa dari gemuk pelumas untuk melindungi keausan metal akibat adanya friksi dan panas. Uji ini menggunakan empat bola logam yang di *install* pada alat *four ball test*. Dan hasilnya disajikan pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. 3 Hasil Uji *Four Ball Test*

No	<i>Complex (%)</i>	<i>Four Ball Test (mg)</i>
1	0	2,08
2	2	2,09
3	3	2,12
4	5	2,12

Disajikan dalam bentuk grafik



Gambar 4. 4 Perolehan Hasil Uji *Four Ball Test* dengan Bertambahnya Komposisi *Complexing Agent*

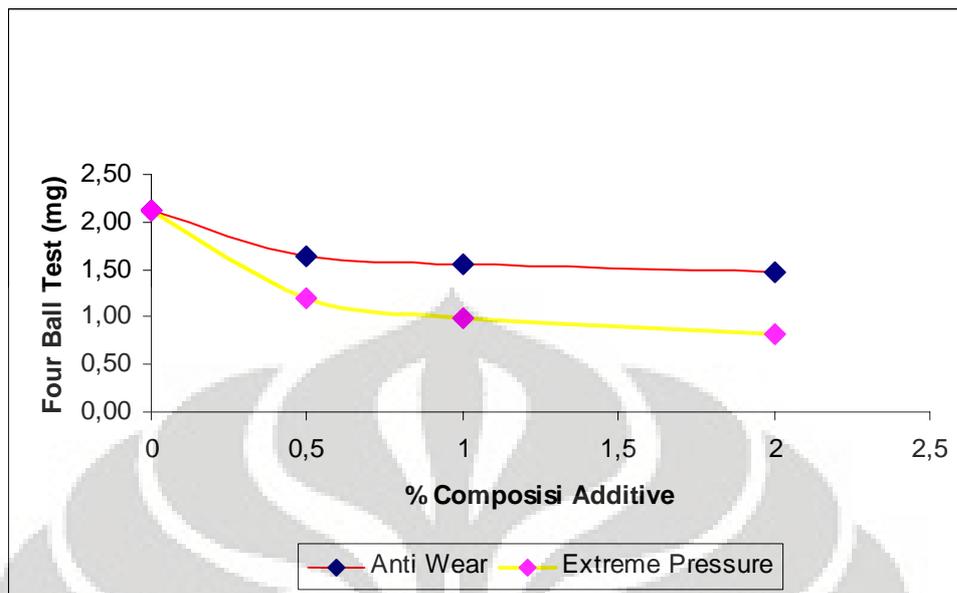
Hasil pengujian *four ball test* dengan variasi komposisi dari *complexing agent* memperlihatkan peningkatan keausan berbanding dengan kenaikan persen komposisi dari *complexing agent*. Hal ini disebabkan dengan

bertambahnya *complexing agent* maka gemuk akan menjadi lebih keras sehingga sulit masuk kedalam kisi-kisi bola uji sehingga mengakibatkan bola uji menjadi sedikit terlumasi. Disamping itu dengan bertambahnya persen komposisi *complex* maka persen komposisi pelumas menjadi berkurang akibatnya fungsi pelumasan menjadi menurun.

4.1.5 Pengaruh Penambahan *Additive Anti Wear* dan *Extreme Pressure* Terhadap Uji *Four Ball Test*

Pengaruh penambahan *additive* dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan terhadap kualitas produk gemuk bio lithium kompleks yang diperoleh. Pada percobaan penambahan *additive* dilakukan pada komposisi gemuk bio lithium kompleks dengan *complexing agent* 3 % dan *additive* yang ditambahkan divariasikan komposisinya. Secara teori seharusnya penambahan *additive* akan meningkatkan performa dari gemuk bio karena struktur *additive* akan melindungi dan membentuk lapisan film pada permukaan logam yang diuji. Hal ini dibuktikan dengan menguji performa gemuk yang telah diberi *additive* dengan parameter uji yang sama dengan produk gemuk bio yang tanpa *additive*. *Additive* pada gemuk diperlukan agar kemampuan gemuk pelumas dalam mengurangi *solid friction* akan menjadi lebih baik. *Additive* yang ditambahkan memiliki karakteristik sebagai *anti wear* dan *extreme pressure*. *Anti wear* yang digunakan pada skripsi ini adalah produk *additive* dengan stuktur senyawaan *phosforus nitrogen compound* dengan merk mayfree 133 sedangkan *extreme pressure* yang digunakan adalah senyawaan *sulfurized fatty ester* dengan merk lubrizol 5346. Penambahan divariasikan dengan rentang 0,5 sampai 2 persen berat terhadap total bobot gemuk bio. Berikut dibawah adalah hasil uji gemuk bio lithium kompleks yang telah ditambah *additive*.

Hasil pengujian ditampilkan dengan grafik dibawah ini.



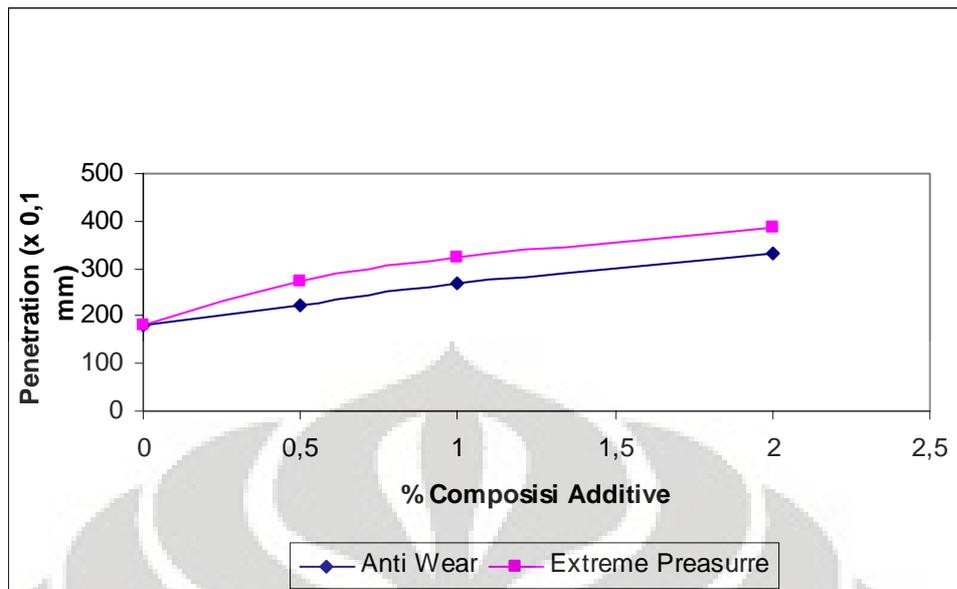
Gambar 4. 5 Perbandingan Perolehan Hasil Uji *Four Ball Test* dengan Bertambahnya Persen *Additive*

Pada grafik dapat dilihat secara umum *additive* dengan karakteristik *extreme pressure* (EP) memiliki kemampuan yang lebih baik dibandingkan dengan *additive* dengan karakteristik *anti wear* hal ini dikarenakan (EP) akan bekerja dengan optimal pada kondisi operasi pada tekanan yang ekstrim sedangkan *anti wear* bekerja pada kondisi operasi yang normal. Tetapi secara umum kedua jenis *additive* dapat mengurangi keausan pada bola uji.

Dapat dilihat pula dengan peningkatan persen *additive* maka ada kecenderungan gemuk bio akan semakin dapat menahan *solid friction*.

4.1.6 Pengaruh Penambahan *Additive Anti Wear* dan *Extreme Pressure* terhadap *Dropping point* dan *Penetration*

Dengan adanya peningkatan penambahan persen *additive* terhadap komposisi gemuk bio terdapat kecenderungan penurunan angka *dropping point* hal ini selaras dengan penurunan nilai *penetration* dari gemuk bio. Penambahan *additive* akan menjadikan gemuk pelumas menjadi semakin cair hal ini dapat dilihat pada grafik hasil percobaan seperti dibawah ini :



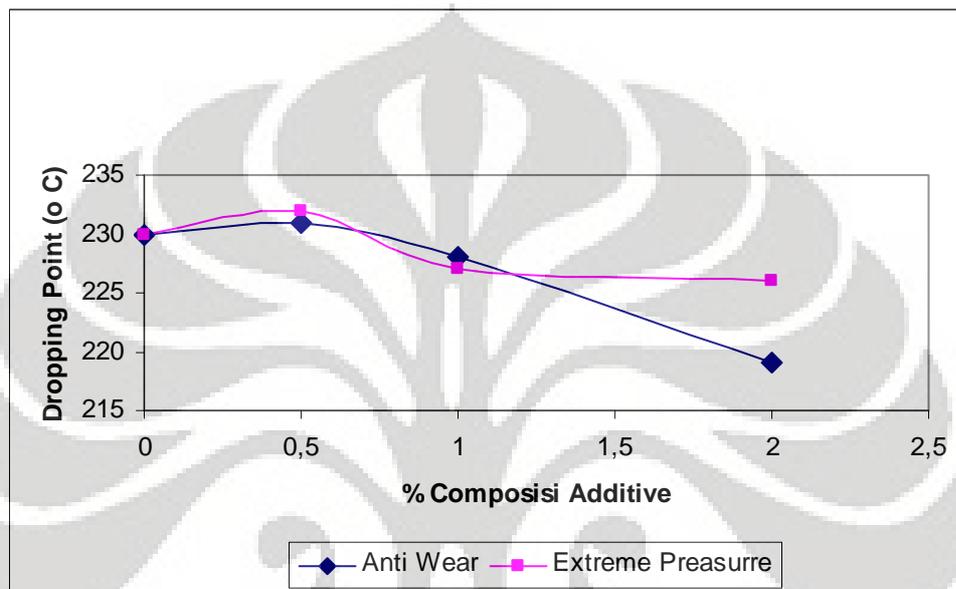
Gambar 4. 6 Perolehan angka *penetration* pada gemuk bio dengan bertambahnya persen komposisi *additive*

Pada hasil percobaan yang dapat dilihat pada grafik, terdapat kenaikan angka *penetration* yang berarti struktur gemuk bio semakin lembut jika kita lihat pada tabel NLGI maka angka NLGI akan semakin turun. Kita dapat membandingkan perbedaan angka NLGI pada tabel dibawah ini antara sebelum penambahan *additive* dan setelah penambahan *additive* pada gemuk bio lithium kompleks dengan komposisi *complexing agent* sebesar 3 %.

Tabel 4. 4 Perolehan NLGI Class dan *Consistency* pada Beberapa Komposisi Penambahan *Additive*

Jenis Gemuk Pelumas	Parameter Uji	
	NLGI Class	<i>Consistency</i>
Gemuk Bio Li tanpa additive	4	<i>Hard</i>
Gemuk Bio Li + EP 0,5 %	3	<i>Semi Hard</i>
Gemuk Bio Li + EP 1 %	2	<i>Common grease</i>
Gemuk Bio Li + EP 2 %	1	<i>Soft</i>
Gemuk Bio Li + AW 0,5 %	2	<i>Common grease</i>
Gemuk Bio Li + AW 1 %	1	<i>Soft</i>
Gemuk Bio Li + AW 2 %	0	<i>Very soft</i>

Untuk parameter uji *dropping point* terdapat penurunan angka *dropping point* setelah penambahan *additive*. Akan tetapi angka *dropping point* yang didapatkan masih diatas angka *dropping point* yang didapatkan pada gemuk bio lithium yang menggunakan sabun lithium *convensional*. Penurunan angka *dropping point* sejalan dengan bertambahnya komposisi *additive*.



Gambar 4. 7 Perolehan *Dropping Point* pada Gemuk Bio Seiring Bertambahnya Persen Komposisi *Additive*

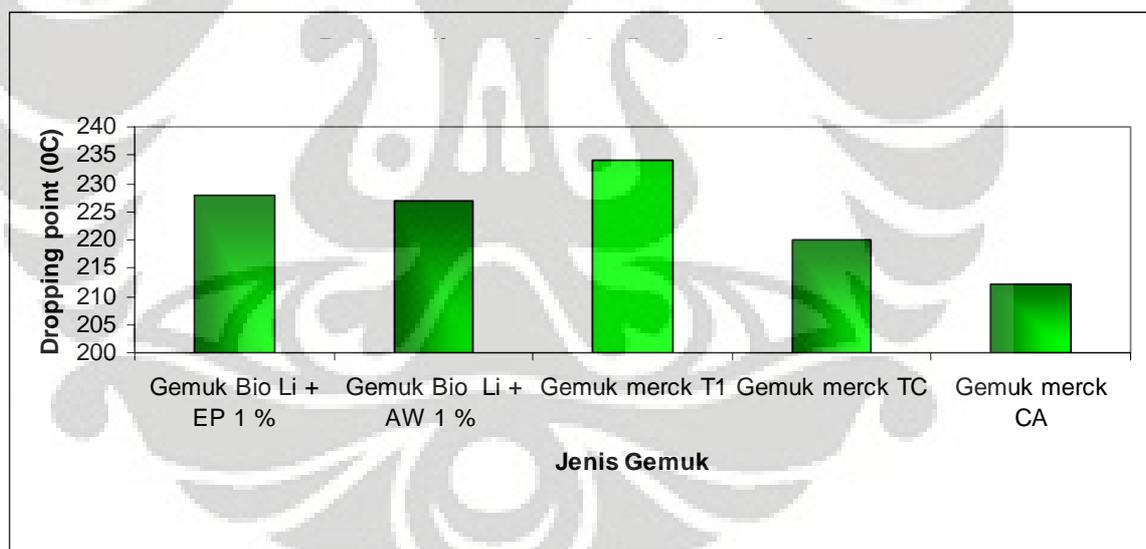
4.1.7 Perbandingan hasil uji antara gemuk bio lithium kompleks dengan gemuk komersil.

Untuk mengetahui performa dari gemuk bio lithium kompleks yang telah diproduksi, maka hasil uji secara keseluruhan harus dibandingkan dengan kemampuan dari gemuk lithium kompleks yang terdapat dipasaran (gemuk komersil). Pengambilan sampel gemuk komersil dilakukan secara random dan di ambil tiga merk berbeda dengan dengan standar kualifikasi *class NLGI class 2* dan *class 3*. berikut tabel hasil pengujian dan dibandingkan dengan gemuk bio lithium dengan komposisi *complexing agent 3 %* yang telah ditambah *additive extreme pressure*. Berikut dibawah tabel hasil perbandingan yang didapatkan.

Tabel 4. 5 Perbandingan Hasil Uji Gemuk Bio dengan Gemuk Komersil

Jenis Gemuk	Parameter Uji			
	<i>Dropping Point</i> (°C)	<i>Four Ball Test</i> (mg)	NLGI	<i>Consistency</i>
Gemuk Bio Li + EP 1 %	228	0,99	2	Common grease
Gemuk Bio Li + AW 1 %	227	1,64	1	Soft
Gemuk merck T1	234	0,88	2	Common grease
Gemuk merck TC	220	1,01	3	Hard
Gemuk merck CA	212	1,31	3	Hard

Tabel diatas juga dapat diilustrasikan pada grafik untuk mempermudah melihat performa dari masing-masing gemuk pelumas yang dibandingkan. Berikut grafik yang didapatkan.

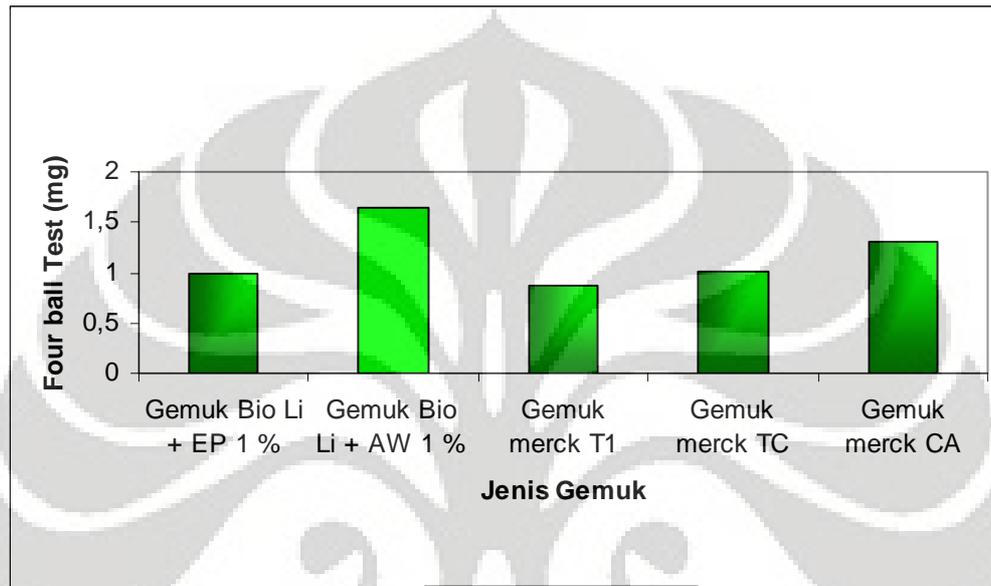


Gambar 4. 8 Perbandingan Perolehan *Dropping Point* antara Gemuk Bio dengan Gemuk Komersil

Dari grafik diatas dapat dilihat *dropping point* yang didapatkan pada gemuk bio dapat mengungguli dua jenis gemuk komersil dengan merck TC dan CA tetapi performanya kalah dibandingkan gemuk dengan merck T1. Kemampuan gemuk bio lithium dapat diperbaiki dengan mengganti jenis

complexing agent yang digunakan seperti *dimetyl azealate* atau *dimethyl carboksilat* yang lainnya.

sedangkan kemampuan gemuk bio dalam mengurangi *solid friction* dibandingkan gemuk komersil dapat dilihat dari grafik dibawah ini :



Gambar 4. 9 Perbandingan Uji *Four Ball Test* antara Gemuk Bio Lithium dengan Gemuk Komersil

Dari hasil diatas dapat dilihat gemuk bio lithium dengan penambahan *additive extreme pressure* dapat mengurangi *solid friction* menjadi lebih baik dibandingkan kemampuan gemuk komersil dengan merk TC dan CA sedangkan dibandingkan kemampuan gemuk dddengan merk T1 kemampuan gemuk bio lithium masih kalah. Hal ini dapat diperbaiki dengan mengganti jenis *additive* yang digunakan.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Dari bab pembahasan yang disajikan dalam makalah ini dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

- 1) Dengan adanya *complexing agent* maka *dropping point* pada gemuk bio lithium kompleks meningkat melebihi angka 206⁰C.
- 2) Semakin meningkatnya konsentrasi dari *complexing agent* maka gemuk bio yang diproduksi akan memiliki warna yang semakin tua.
- 3) Semakin banyak komposisi *complexing agent* membuat angka *penetration* semakin rendah sehingga gemuk bio lithium kompleks semakin keras dan menjadikan turunnya kemampuan gemuk bio dalam menahan keausan hal ini dapat dilihat dengan semakin tingginya hasil uji *four ball test*.
- 4) Penambahan *additive extreme pressure* dan *anti wear* terbukti dapat meningkatkan kualitas dari gemuk bio lithium kompleks terutama dalam kemampuannya mencegah keausan.
- 5) Produk terbaik pada penelitian ini didapatkan pada komposisi penambahan *additive extreme pressure* sebanyak 1 % pada komposisi *complexing agent* 3 %.
- 6) Kualitas gemuk bio lithium kompleks yang berhasil dibuat telah lebih baik dibandingkan dengan gemuk lithium komersil pada parameter *dropping point* dan kemampuan menahan *solid friction*.

5.2 SARAN

Saran untuk penelitian ini adalah :

- 1) Perlu dipertimbangkan penggunaan *complexing agent* dari jenis berbeda yaitu dari senyawaan *dimethyl carboksilat* untuk memperbaiki *dropping point* yang telah tercapai pada penelitian ini.
- 2) Perlu dipertimbangkan penggunaan *additive* yang juga memiliki spesifikasi *biodegradable* atau *food grade*.

- 3) Alat untuk pengujian kualitas gemuk hendaknya merupakan peralatan dengan standar international.



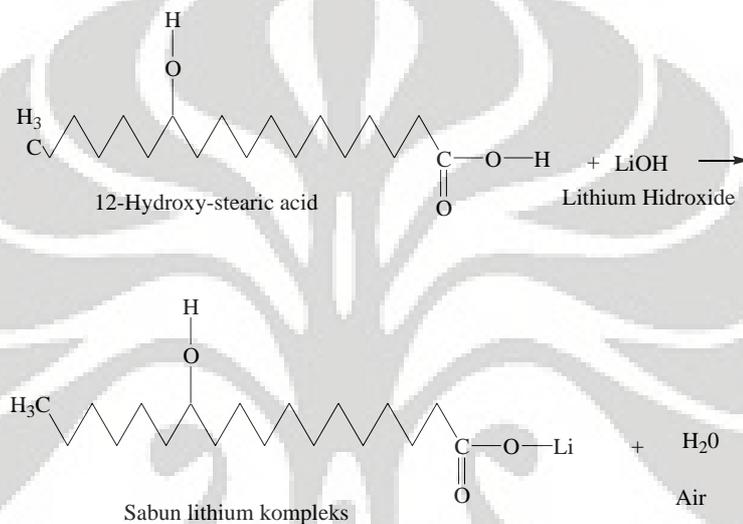
DAFTAR REFERENSI

- American Society for Testing Materials, (1993). *ASTM and Other Specifications and Classification for Petroleum*. Philadelphia.
- Fessenden, R. J. & Fessenden, J. S. (1981). *Organic Chemistry*. (USA :Wadsworth Asian Student Edition.
- Mardiansyah, D. (2007). *Penggunaan efamegli (pelumas bio) dan minyak mineral sebagai base oil pada pembuatan gemuk bio*. Skripsi, Departemen Teknik Kimia,FTUI.Depok
- Marius. (2007). *Pembuatan Grease Calsium dan Grease Lithium Berbahan Dasar EPOME Gliserol*. Skripsi, Departemen Teknik Kimia,FTUI.Depok
- National Lubricating Grease Institute.(1984).*Lubricating Grease Guide*. Kansas City.
- Albert, J, & Genetti, Jr. (1999). *Engeering and design lubricants and hydraulics fluid departement of the arm*. 1 Mei 2008. <http://www.SoftEbookTehran.com>
- Rondang, T. (2006). *Buku Ajar Teknologi Oleokimia*. 8 Mei 2008. <http://www.E.learning/oleokimia/Textbook/Pelumas.htm>
- Spagnoli.*et al.*(2005). Method and equipment for making a complex lithium grease.*United States Patent Application Publication*. 4 Mei 2008. <http://www.freepatensonline.com>
- Witte, Jr, *et al.*(1984). Lithium complex soap thickened containing calsium asetat. *United States Patent Application Publication*. 4 Mei 2008. <http://www.freepatensonline.com>

LAMPIRAN

A. Perhitungan

Komposisi bahan kimia atau reagent yang digunakan untuk pembuatan gemuk bio lithium kompleks diperhitungkan dengan cara dibawah ini :



Dari reaksi diatas digunakan sebagai dasar perhitungan kebutuhan *reagent*

Mol a = mol sabun lithium

Mol b = mol 12-hidroxy stearic acid

Mol c = mol lithium hydroxide

Basis perhitungan pada 5 Liter minyak hasil epoksidasi

Untuk thickener 15 % maka :

$$\begin{aligned}
 \text{Bobot Base Oil} &= \text{Bj Minyak} \times \text{Volume Minyak} \\
 &= 0.8876 \text{ g/ml} \times 5000 \text{ mL} \\
 &= 4383 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Bobot Thickener} &= (\text{Bobot Base Oil} \times 15 \%) - (\text{Bobot Base Oil}) \\
 &= (4383 \text{ gram} \times 15 \%) - (4383 \text{ gram}) \\
 &= 773.5 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

Total bobot gemuk bio = bobot *base oil* + bobot *thickener*

$$= 4383 \text{ gram} + 773.5 \text{ gram} = 5156.5 \text{ gram}$$

Dengan uraian :

Untuk kebutuhan 12-Hidroxy Stearic dan lithium hydroxide dihitung dari basis mol sabun lithium.

$$\text{mol a} = \frac{\text{bobot thickener}}{\text{Mr thickener}} = \frac{773.5 \text{ gram}}{306 \text{ gram/mol}} = 2.53 \text{ mol}$$

Karena perbandingan koefisien reaksi antara sabun lithium (*thickener*) dengan 12-hidroxy stearic acid dan lithium hydroxide adalah 1 : 1 : 1 maka

$$\text{mol b} = \text{mol a} = \text{mol c}$$

Bobot 12 hidroxy stearic acid = mol b x Mr 12 hidroxy stearic acid

$$\begin{aligned} \text{Bobot 12 Hidroxy Stearic Acid} &= \text{mol b} \times \text{Mr 12 Hidroxy stearic acid} \\ &= 2.53 \text{ mol} \times 300 \text{ gram/mol} \\ &= 758.3 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Bobot lithium hydroxide} &= \text{mol c} \times \text{Mr lithium hydroxide} \\ &= 2.53 \text{ mol} \times 42 \text{ gram/mol} \\ &= 106.2 \text{ gram} \end{aligned}$$

Untuk memastikan semua 12 hidroxy stearic acid habis bereaksi dengan lithium hydroxide maka bobot lithium hydroxide dibuat berlebih 5 persen.

$$\begin{aligned} \text{Bobot lithium hydroxide berlebih} &= 106.2 \text{ gram} \times 5 \% \\ &= 5.3 \text{ gram} \end{aligned}$$

Untuk bobot complexing agent dihitung dari reaksi dibawah ini :



Mol d = mol lithium asetat

Mol e = mol asam asetat

Mol f = mol lithium hydroxide

Contoh perhitungan :

Dengan basis bobot total lemak bio maka

$$\begin{aligned} \text{Bobot } \textit{complexing agent} &= \% \text{ bobot } \textit{complexing agent} \times \text{ bobot total lemak bio} \\ &= 3 \% \times 5156.5 \text{ gram} \\ &= 154.68 \text{ gram} \end{aligned}$$

Karena koefisien garam lithium asetat : lithium hydroxide : asam asetat = 1 : 1 : 1

Maka :

Bobot asam asetat = Mr asam asetat x (bobot *complexing agent* / Mr lithium asetat)

$$= 60 \text{ g/mol} \times \left(\frac{154.68 \text{ g}}{66 \text{ g/mol}} \right) = 140 \text{ gram}$$

Bobot Lithium hydroxide = Mr lithium hydroxide x (bobot *complexing agent* / Mr lithium asetat)

$$= 42 \text{ g/mol} \times \left(\frac{154.68 \text{ g}}{66 \text{ g/mol}} \right) = 98.4 \text{ g}$$

Dengan cara diatas maka didapatkan tabel :

% Complex	Bobot 12-HSAcid (g)	Bobot LiOH (g)	Bobot Acetic Acid (g)	Bobot LiOH complex
0	758,3	111,5	0	0
2	758,3	111,5	93,75	65,63
3	758,3	111,5	140,63	98,44
5	758,3	111,5	234,39	164,07

B. Data Kalibrasi Penetrometer

